



**Universidade de
Aveiro
2011**

Departamento de Engenharia Civil

**Sérgio Miguel Pinto de
Almeida Patinha**

**CONSTRUÇÃO MODULAR – DESENVOLVIMENTO
DA IDEIA: CASA NUMA CAIXA**



**Universidade de
Aveiro
2011**

Departamento de Engenharia Civil

**Sérgio Miguel Pinto de
Almeida Patinha**

**CONSTRUÇÃO MODULAR – DESENVOLVIMENTO
DA IDEIA: CASA NUMA CAIXA**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Miguel Nuno Lobato de Sousa Monteiro de Morais, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e sob a co-orientação científica do Doutor Paulo Barreto Cachim, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professora Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Miguel Ângelo Carvalho Ferraz
professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Professor Doutor Miguel Nuno Lobato de Sousa Monteiro de Morais
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Paulo Barreto Cachim
professor associado da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aqui a todos aqueles que contribuíram para o meu sucesso tanto neste trabalho como ao longo do curso.

Ao orientador e co-orientador: Professor Miguel Morais e Professor Paulo Cachim, respectivamente, pela orientação e conhecimentos transmitidos ao longo de todo o trabalho, assim como pelos conselhos nas alturas mais difíceis.

Ao Professor Nuno Lopes do Departamento de Engenharia Civil, pela ajuda e disponibilidade prestadas.

À equipa responsável pelo laboratório do Departamento de Engenharia Civil, pela ajuda na construção do modelo.

Ao Arquitecto Miguel Ribeiro de Sousa da Modular System pela disponibilidade e colaboração inicial e neste projecto.

À empresa Juca & filhos e ao senhor Carlos Silva, pela ajuda no processo de esmagamento dos tubos.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, que fizeram parte integrante da minha formação académica e pessoal.

A todos os amigos que fiz ao longo deste percurso, em especial ao Grupo dos Paulos: à Ana, ao Barbosa, ao Diogo, ao Flávio, ao Filipão, ao Telmo e ao Leandro. Pelos bons momentos, pela companhia e pela grande ajuda que sempre me deram ao longo do curso.

À Magna Tuna Cartola por tudo o que recebi e aprendi ao longo destes anos, e a todos os meus amigos Cartolas pelos momentos brutais de alegria, Rock e amizade.

À Tatiana, por tudo e por tanto.

Aos meus Pais, por todos os sacrifícios que fizeram ao longo destes anos para que nunca nada me faltasse.

Palavras-chave

Construção modular, flat-pack, casa desmontável, transportável, casa em contentor

Resumo

O objectivo deste trabalho é desenvolver um sistema construtivo inovador/modular, que partindo do conceito "flat-pack" para comercialização de mobiliário, permita disponibilizar uma casa modular que possa ser vendida e transportada num contentor.

O objectivo consiste em dimensionar os elementos estruturais, as suas ligações, sistema de cobertura e sistema de fachada. Será também necessário que o sistema seja de montagem fácil, inclusivamente por mão-de-obra pouco qualificada (tipo bricolage: DIY - Do it yourself).

Para tal foi modelada e estudada uma estrutura metálica que fosse montável pelo dono de obra. Estudaram-se diversas disposições estruturais possíveis e as suas implicações no custo final da estrutura.

Em função da estrutura principal, foram dimensionados e pormenorizados os elementos de fachada, piso e cobertura. Estudou-se também as diversas opções a utilizar nos revestimentos e isolamentos.

Keywords

Modular Construction, flat-pack, demountable home, home in a container

Abstract

The aim of this work is to develop an innovative/modular building system, inspired in the “flat-pack” concept for furniture commercialization from which a modular home should be developed and able to be sold and transported in a container.

The objective is to design the structural elements, their connections, the roof and facade systems. The building system should be of easy assemble even by non skilled labor, like a do it yourself solution.

To this was modeled and studied a metal frame structure that was able to be easily mountable by the house owner. There have been studied several possible structural arrangements and their implications in the final cost of the structure.

Accordingly to the main structure, elements of the facade, floor and roof were scaled and detailed. Various options to be used in coatings and insulation were also studied.

ÍNDICE GERAL

Índice Geral.....	I
Índice de figuras.....	III
Índice de tabelas	VII
Lista de Acrónimos	IX
1. Introdução	1
1.1. Considerações gerais:	1
1.2. Motivação:.....	2
1.3. Objectivo	3
1.4. Organização da tese	5
2. Construção modular: conceito, história e sistemas modulares actuais?	
2.1. História da construção modular	7
2.1.1. Primeiro período, antiguidade:.....	8
2.1.2. Segundo período, revolução industrial:.....	11
2.1.3. Terceiro período, actualidade.	12
2.2. O conceito da construção modular.....	16
2.2.1. Sistema referencial:	18
2.2.2. Sistema modular de medidas.....	20
2.2.3. Sistema tolerâncias e juntas construtivas	21
2.2.4. Sistema de números preferenciais.....	22
2.3. Principais sistemas de construção modular	22
2.3.1. Classificação de sistemas construtivos modulares	23
2.3.2. Sistemas Modulares:	26
3. Abordagem conceptual ao módulo	43
3.1. Conceitos do sistema modular	43
3.2. Características dimensionais e funcionais	44
3.3. Componentes do sistema:	45
3.3.1. Estrutura Principal:.....	45
3.3.2. Estrutura secundária:.....	46
3.4. Dimensões dos módulos estruturais a considerar	46
3.4.1. Dimensões mínimas regulamentares a considerar	47
4. Estrutura Principal.....	51
4.1. Características	51

4.2.	Estudo do comportamento estrutural dos módulos	53
4.2.1.	Nomenclatura da disposição dos módulos estruturais	54
4.2.2.	Procedimento adoptado e parâmetros de comparação	57
4.2.3.	Modelação:	58
4.2.4.	Dimensionamento:	60
4.2.5.	Resultados obtidos:	61
4.2.6.	Considerações finais.....	71
4.3.	Análise das diversas concepções estruturais possíveis.....	72
4.3.1.	Desenvolvimento de viga treliça de piso (solução III)	75
4.4.	Construção e ensaio de modelo à escala real de treliça de piso	88
4.4.1.	Construção da treliça	90
4.5.	Análise económica das diferentes soluções	95
4.5.1.	Conclusões	97
4.6.	Estrutura vertical	99
4.6.1.	Modelação, dimensionamento e pormenorização.....	99
5.	Sistema de pisos, fachada e cobertura.....	103
5.1.	Sistema de piso	103
5.1.1.	Sistema de piso nas zonas singulares.....	105
5.1.2.	Revestimento do sistema de piso	109
5.1.3.	Tectos falsos e isolamentos.....	111
5.1.4.	Sistema de piso, rés-do-chão	112
5.2.	Sistema de fachada	114
5.2.1.	Zonas contínuas:	114
5.2.2.	Sistema de parede nas zonas singulares:	116
5.2.3.	Sistema de fachada: zona de portas e janelas	118
5.2.4.	Sistema de revestimento	119
5.3.	Sistema de cobertura	123
6.	Conclusões:	127
	Referências Bibliográficas	133
	ANEXO I - Acções e combinações o para estudo do módulo e respectivo dimensionamento.....	137
	ANEXO II: Resultados da modelação e dimensionamento dos módulos	141
	ANEXO III - Dimensionamento de pilares.....	147
	ANEXO III - Dimensionamento dos elementos de ligação pilar/pilar:.....	150
	ANEXO IV - Dimensionamento ligação base do pilar:	152
	ANEXO V - Dimensionamento da treliça de piso:.....	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Possível ciclo de vida de uma habitação modular reutilizável	4
Figura 2.	Exemplo da aplicação de uma medida modular nas colunas dos templos gregos GREVEN e BALDAUF (2007)	9
Figura 3.	Planta da cidade de Emona GREVEN e BALDAUF (2007).....	9
Figura 4.	Casa típica japonesa realizada com o sistema modular <i>ken</i> KOTHER, et al. (2006).	10
Figura 5.	Planta de casa típica japonesa com o sistema modular <i>ken</i> , KOTHER, et al. (2006).....	11
Figura 6.	Palácio de cristal, ícone da construção modular na época da revolução industrial UFSC (2003)	11
Figura 7.	Exemplo da montagem de uma habitação prefabricada, GAFHEY, et al. (2006)	13
Figura 8.	Sistema Dom-Ino, Arquitecto Le Corbusier, 1914/17:	14
Figura 9.	Plantas e alçados da casa A Haus am Horn MUCHE (1923).....	14
Figura 10.	Tropical House, ARKFO (2008)	15
Figura 11.	Modular, sistema modular clássico desenvolvido por Le Corbusier nos anos 40 MACEDO e SILVA (2007).....	16
Figura 12.	Exemplo de aplicação do sistema geométrico de referência GREVEN e BALDAUF (2007)	19
Figura 13.	Exemplo da aplicação das malhas modulares GREVEN e BALDAUF (2007)	20
Figura 14.	Ilustração do sistema de tolerâncias e juntas construtivas GREVEN e BALDAUF (2007)	22
Figura 15.	Exemplo de sistemas modulares fechados 5OSA (2009) (à esquerda) LOFT CUBE (2011) (à direita).....	24
Figura 16.	Exemplo de sistemas modulares parcialmente abertos LAWSON (2007) (à esquerda) SPACE (2007) (à direita).	24
Figura 17.	Exemplo de sistemas modulares abertos RADZINER (2005) (à esquerda e à direita).	25
Figura 18.	Exemplo de sistemas construtivos de elementos modulares CENTURYSSTEEL (2009c) (à esquerda e à direita).....	25
Figura 19.	Detalhe de furação perfil L.S.F. RODRIGUES (2006)	26
Figura 20.	Passagem de cablagem pelo interior de perfis L.S.F., SOMUNDYBRASIL (2008).....	27
Figura 21.	Esquema de moradia realizada em L.S.F. RODRIGUES (2006)	27
Figura 22.	Exemplo de perfis de parede realizados em L.S.F. RODRIGUES (2006)	28
Figura 23.	Exemplo de placa de OSB TIMBER (2011)	29
Figura 24.	: Exemplo de um piso executado em LSF, SOMUNDYBRASIL (2008)	30
Figura 25.	Produção e transporte de módulos habitacionais em L.S.F. CENTURYSSTEEL (2009b)	30
Figura 26.	Colocação de módulos em obra CENTURYSSTEEL (2009b)	31

Figura 27. Produção de módulos em fábrica e colocação em obra, RADZINER (2005).....	32
Figura 28. Utilização de módulos habitacionais em estruturas mistas RADZINER (2005).....	32
Figura 29. Esquema ilustrativo da construção recorrendo a S.I.P.s, K-PANELS (2010).....	33
Figura 30. Exemplo de um S.I.P.s MURUS (2009).....	34
Figura 31. Interior sem acabamentos de habitação executada a apenas em madeira e S.I.P.'s, DONNALLY (2009)	34
Figura 32. Planta de uma habitação T1 de 4 módulos e T3 de 3 módulos, MODULARSYSTEM (2010)	35
Figura 33. Habitação T0 de 5 módulos Modular System, MODULARSYSTEM (2010)	36
Figura 34. Habitação T0 de 5 módulos Modular System, MODULARSYSTEM (2010)	37
Figura 35. Interior de uma habitação Modular System, MODULARSYSTEM (2010)	37
Figura 36. Aplicação de módulos spacebox e colocação em obra, JONG (2003)	38
Figura 37. Interior de um spacebox e de módulos spacebox ligadas pela estrutura metálica, 5OSA (2009).....	39
Figura 38. Esquema de produção, transporte e implantação do sistema Sit Urban Design DESIGN (2011)	40
Figura 39. Tipologia T1 do sistema Sit Urban Design, SÁBADO (2009).....	40
Figura 40. Planta de tipologia T1 sistema Sit Urban Design, SÁBADO (2009)	40
Figura 41. Protótipo da estrutura principal base do sistema	45
Figura 42. Exemplificação de uma estrutura principal modular construída com uma das configurações possíveis.....	45
Figura 43. Exemplo de módulo estrutural	53
Figura 44. Sistema de nomenclatura da disposição dos módulos	54
Figura 45. Exemplo de aplicação do sistema de nomenclatura, disposição 4IZ	55
Figura 46. Exemplo de aplicação do sistema de nomenclatura, disposição 2[4IZ]	55
Figura 47. Nomenclatura tipo da disposição I+I.....	56
Figura 48. Nomenclatura tipo da disposição I+Z.....	56
Figura 49. Nomenclatura tipo da disposição em "L"	57
Figura 50. Exemplificação da estrutura adoptado na modelação em SAP2000	59
Figura 51. Aplicação das cargas horizontais e verticais no SAP2000	60
Figura 52. Gráfico solicitação de pilares na disposição I+I	62
Figura 53. Gráfico solicitação das vigas transversais na disposição I+I	62
Figura 54. Gráfico solicitação das vigas longitudinais na disposição I+I.....	62
Figura 55. Gráfico solicitação de pilares na disposição I+Z	64
Figura 56. Gráfico solicitação de vigas transversais na disposição I+Z.....	64
Figura 57. Gráfico solicitação de vigas longitudinais na disposição I+Z	65
Figura 58. Alçado, planta e perspectiva da disposição I2D.....	65

Figura 59.	Esquema dos pórticos resistentes à acção sísmica na direcção yy	66
Figura 60.	Diagrama de momentos flectores na disposição H2Z.....	66
Figura 61.	Configurações arquitectónicas não favoráveis e respectivas	
propostas de	melhoramento segundo GUERREIRO (2011)	68
Figura 62.	Gráfico solicitação de pilares na disposição tipo “L”	69
Figura 63.	Gráfico solicitação de vigas transversais na disposição tipo “L” ..	70
Figura 64.	Gráfico solicitação de vigas longitudinais na disposição tipo “L” ..	70
Figura 65.	Vista superior e perspectiva da disposição estrutural 5[4I]+3[2I]	72
Figura 66.	Exemplificação da extremidade de uma viga rectangular oca com	
placa de testa e ligação	aparafusada STEEL-CONNECTIONS.COM (2011) ..	73
Figura 67.	Exemplo de ligação viga/pilar com pilar oco e viga tipo IPE	74
Figura 68.	Exemplo de treliça de piso WIKIPEDIA (2011)	74
Figura 69.	Nomenclatura dos elementos estruturais das treliças de piso	
D’ALAMBERT e CORREA	(2007)	76
Figura 70.	Exemplo treliça de Warren.....	76
Figura 71.	Exemplo treliça de Pratt.....	77
Figura 72.	Pormenor da modelação da ligação viga/pilar	81
Figura 73.	Exemplo de diagrama de esforços unitário da face vertical da viga	
de piso	81	
Figura 74.	Exemplo da secção transversal adoptada	83
Figura 75.	Modelação 3d da treliça de piso	84
Figura 76.	Perfil lateral (em cima) e vista superior (em baixo) da treliça de	
piso	85	
Figura 77.	Modelação 3d dos pormenores de ligação das diagonais às	
cordas superiores (à esq.) e às	cordas inferiores (à dir.)	85
Figura 78.	Pormenor da extremidade da treliça (à esq.).....	86
Figura 79.	Pormenor 3d da ligação aparafusada treliça/pilar.....	86
Figura 80.	Exemplo 3d da ligação de canto com mais de uma treliça de piso	
	87	
Figura 81.	Exemplo de extremidade perfil.....	87
Figura 82.	Esquema de montagem da treliça de piso (escala 1:25)	89
Figura 83.	Processo de espalmamento do tubo através de prensa hidráulica	
	91	
Figura 84.	Introdução de inclinação no próprio tubo aquando do processo de	
prensagem (à esq.) e aspecto	final do tubo espalmado (à dir.).....	92
Figura 85.	Furação dos tubos espalmados	93
Figura 86.	Aspecto final da treliça de piso	93
Figura 87.	Pormenores dos pilares do piso 1 e piso 2	100
Figura 88.	Corte da ligação pilar-pilar na zona aparafusada.....	101
Figura 89.	Pormenores da ligação pilar-pilar	101
Figura 90.	Planta (à esq.) e alçado (à dir.) da base do pilar	102
Figura 91.	Exemplo dos apoios das vigas de piso.	104
Figura 92.	Pormenor 3D da ligação viga de piso com a estrutura principal	104
Figura 93.	Aspecto geral da estrutura principal com as respectivas vigas de	
piso fixadas na treliças de	piso.....	105
Figura 94.	Exemplificação da ligação das vigas de piso em módulos	
dispostos consecutivamente	106

Figura 95.	Exemplificação da ligação das vigas de piso em módulos dispostos perpendicularmente.....	107
Figura 96.	Extremidade do sistema de piso	107
Figura 97.	Exemplo de uma chapa de ligação	108
Figura 98.	Extremidade duplamente apoiado do sistema de piso.....	108
Figura 99.	Pormenor 3d do piso realizado em OSB.....	109
Figura 100.	Esquema de montagem do tecto falso <i>KNAUF (2009)</i>	111
Figura 101.	Pormenor de encontro entre o tecto falso e parede <i>drywall KNAUF (2009)</i>	112
Figura 102.	Exemplo e aplicação da membrana protectora.....	113
Figura 103.	Aplicação do isolamento na zona inferior do painel de piso	113
Figura 104.	Sistema de parede L.S.F. (à esq.) ligação aparafusada entre as abas do perfil “U” e perfil vertical “C”	115
Figura 105.	Pormenor 3d da fixação das calhas por parafusos	115
Figura 106.	Esquema de montagem do sistema de parede.....	116
Figura 107.	Zona de união do sistema de parede.....	117
Figura 108.	Exemplo do sistema de parede aplicado num canto.....	117
Figura 109.	Exemplo do sistema de parede aplicado num recanto	118
Figura 110.	Exemplo 3d da estrutura suporte de uma janela.....	119
Figura 111.	Exemplo 3D da estrutura suporte de uma porta	119
Figura 112.	Exemplo de sistema de fachada ventilada PATROCÍNIO (2007) 120	
Figura 113.	Descrição de sistema de isolamento térmico de fachada pelo exterior FREITAS (2002).....	120
Figura 114.	Exemplificação da aplicação dos painéis sanduíche de parede	122
Figura 115.	Exemplo da aplicação da membrana.....	123
Figura 116.	Pormenor da aplicação da membrana	123
Figura 117.	Esquema do sistema inclinado de cobertura	124
Figura 118.	Esquema do sistema inclinado de cobertura (II)	124
Figura 119.	Exemplo do painel de cobertura	125
Figura 120.	Pormenores da aplicação da tela impermeabilizante (à dir.) e do rufo (à esq.)	125
Figura 121.	Aspecto final da impermeabilização e aplicação de rufo	126

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Áreas mínimas dos compartimentos segundo o artigo 66º do RGEU	47
Tabela 2.	Solicitações máximas em cada disposição por elemento estrutural	71
Tabela 3.	Solicitações máximas verificadas na disposição 5[4I]+2[3I]:	72
Tabela 4.	Resumo das soluções treliçadas estudadas	79
Tabela 5.	Resumo das soluções triangulares.....	80
Tabela 6.	Esforços aplicados nos elementos da treliça.....	82
Tabela 7.	Secções resistentes adoptadas na treliça de piso.....	83
Tabela 8.	Secções resistentes adoptadas na treliça de piso.....	88
Tabela 9.	Tempo dispendido na tarefa de corte dos perfis.....	90
Tabela 10.	Tempo dispendido na furação dos elementos longitudinais da viga	91
Tabela 11.	Tempo dispendido no processo de estampagem dos tubos.....	92
Tabela 12.	Contabilização do tempo dispendido na furação dos tubos espalmados	93
Tabela 13.	Contabilização do custo da mão-de-obra para preparação dos elementos da treliça	94
Tabela 14.	Contabilização dos custos dos parafusos da treliça	94
Tabela 15.	Custo da ligação treliça/pilar	94
Tabela 16.	Custo final da treliça longitudinal de piso.....	94
Tabela 17.	Tempo de montagem da treliça de piso.....	95
Tabela 18.	Secções apuradas em cada solução estrutural	95
Tabela 19.	Quantificação do custo total da solução viga longitudinal IPE 240 com ligação rígida no pilar;.....	96
Tabela 20.	Quantificação do custo total da solução viga longitudinal IPE 270 com ligação resistente ao corte no pilar (articulada);	96
Tabela 21.	Quantificação do custo total da solução viga transversal IPE 240 com ligação rígida no pilar;.....	96
Tabela 22.	Quantificação do custo total da solução viga IPE 270 com ligação resistente ao corte no pilar (articulada);	97
Tabela 23.	Balanço económico das diferentes soluções:	97
Tabela 24.	Distribuição dos custos nas vigas longitudinais por solução:.....	98
Tabela 25.	Secções resistentes adoptadas na treliça de piso	99
Tabela 26.	Secções resistentes dos pilares.....	100
Tabela 27.	Descrição dos trabalhos de corte na aplicação dos painéis OSB:	110
Tabela 28.	Balanço económico das diferentes soluções:	130

LISTA DE ACRÓNIMOS

AEP	Agência Europeia para a Produtividade
CHS	Circular Hollow Sections (Secções circulares ocas)
DIY	Do it yourself (Faz tu mesmo)
OSB	Oriented Strand Board (Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas)
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RGEU	Regulamento Geral de Edificações Urbanas
RHS	Rectangular Hollow Sections (Secções rectangulares ocas)
RSA	Regulamento de Segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes
LSF	Light Steel Framing (Estrutura em aço leve)
SIP's	Structural Insulated Panels (Painéis estruturais com isolamento)

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Desde os primórdios da humanidade que a concepção e construção de habitações envolveram o recurso a sistemas construtivos pré-definidos. Estes podiam ser, como originalmente, fruto do conhecimento empírico ou de forma mais moderna, proveniente de conhecimento científico. Consoante a época em questão, os sistemas construtivos variaram em função das necessidades, das exigências, da tecnologia, dos materiais, dos recursos e dos conhecimentos disponíveis. Desde as estruturas mais arcaicas executadas em alvenaria resistente de pedra até às estruturas porticadas em betão armado ou às edificações em aço, todas têm por base um conjunto de técnicas e materiais, que permitem a harmonização dos elementos, em prol de um fim comum: a edificação final, de forma a cumprir a função para as quais foram construídas, FERREIRA (2005) .

É em função do sistema construtivo adoptado, que grande parte das exigências de qualidade, conforto, segurança, eficiência e economia poderão ser satisfeitas. Desta forma a busca por avanços nos sistemas construtivos utilizados e a elaboração de novos sistemas revela-se uma necessidade. Por outro lado, o recurso aos sistemas construtivos disponíveis actualmente tornam o sector da construção civil mundial bastante heterogéneo e pouco racional do ponto de vista produtivo, uma vez que consoante a obra em análise se verificam grandes disparidades de valores nos índices de produtividade e desperdícios. GREVEN e BALDAUF (2007).

A questão dos desperdícios gerados pelo sector da construção civil e da quantidade de recursos absorvidos torna-se ainda mais relevante quando, segundo YEANG (1999) citado por GREVEN e BALDAUF (2007) este sector é responsável pelo consumo de cerca de 40% das matérias-primas produzidas no mundo, e pela produção de 20 a 26% do lixo acumulado anualmente em aterros.

Todos estes desperdícios produtivos além de não serem sustentáveis do ponto de vista ambiental, resultam num aumento do preço final da construção. Se assumirmos que a compra de habitação é para a grande generalidade das pessoas o maior investimento realizado nas suas vidas, a racionalização e optimização de meios e recursos poderá alterar esta realidade, diminuindo assim os custos praticados pelo sector.

É no âmbito desta necessidade de optimização de custos e recursos, bem como do tempo necessário para a construção de habitações, elevando os parâmetros de qualidade das mesmas, que surge a metodologia da coordenação dimensional modular. Este conceito pretende criar uma dimensão padrão, que possibilite a racionalização desde a concepção até à construção dos edifícios, aumentando assim o nível de industrialização com todas as vantagens inerentes, mantendo ainda um nível aceitável de liberdade de concepção do ponto de vista arquitectónico, CASTELO (2008).

1.2. MOTIVAÇÃO

Para além dos factores enumerados no ponto anterior, na sociedade actual a concepção de uma habitação leva-nos a pensar numa estrutura física imóvel, com características e volumes perfeitamente definidos no tempo. Além deste conceito generalizado, os materiais e técnicas construtivas mais difundidos actualmente também não permitem uma utilização dinâmica das habitações, que permita a alteração da sua morfologia de forma rápida, ágil e económica consoante as necessidades dos seus habitantes se alteram ao longo do tempo.

Adicionalmente, hoje em dia é comum olhar para as habitações próprias como um encargo financeiro, devido à prática comum de compra de casa em detrimento do aluguer de habitação. Este factor, juntamente com a dificuldade de transacção das habitações que é fruto do seu elevado valor para a maioria da população e da actual conjuntura económico-social, resulta num grande obstáculo à mobilidade dos seus proprietários.

Desta forma a falta de dinâmica intrínseca às habitações que consideramos como convencionais, choca com o dinamismo do ser humano e da sociedade

actual. Como tal, e em função destas necessidades, urge repensar e reinventar um conceito de habitação que satisfaça todas estas necessidades.

1.3. OBJECTIVO

O objectivo deste trabalho será conceber um sistema construtivo modular industrializado que permita a edificação de uma habitação. Todos os componentes do sistema deverão estar preparados para que o seu transporte seja efectuado a partir de contentores de transporte marítimo. A produção em série dos vários componentes deverá aumentar os parâmetros de conforto, qualidade e segurança da habitação, assim como reduzir os desperdícios e aumentar a produtividade do sistema. Desta forma pretende-se reduzir o preço final da habitação, para que se torne possível disponibilizar habitações *low-cost* ao público em geral.

A fim de reduzir os custos totais da habitação, o processo de montagem final dos diversos componentes deverá ser simplificado, com um elevado grau de pré-fabricação, que não obrigue ao recurso de mão-de-obra especializada e, se possível ainda, recorrendo apenas à mão-de-obra do próprio dono de obra. Esta poupança permite enfrentar algumas questões relacionadas com a escassez de mão-de-obra devidamente qualificada em países em vias de desenvolvimento que a tornam extremamente dispendiosa. O recurso a maquinaria pesada no auxílio da construção da habitação, deverá ser tanto quanto possível evitado, diminuindo também o preço do produto final.

O sistema deverá também estar preparado para o seu transporte, de forma a tornar mais ágil o seu comércio no mercado mundial. Como tal, todos os elementos deverão ter dimensões compatíveis com os habituais contentores marítimos utilizados para o efeito.

Além das questões relacionadas com o custo, transporte e qualidade final da habitação, o sistema deverá também dar resposta a algumas limitações habituais da construção convencional, conforme enumerada no capítulo 1.2. Desta forma, o sistema modular deverá permitir a alteração da sua morfologia conforme as necessidades dos seus habitantes. A adição, subtracção ou

disposição alternativa de módulos/divisões da casa deverá ser facilmente executável, à semelhança do mobiliário de uma habitação convencional. Esta característica poderá revelar-se bastante importante, dado que se o tamanho e o número de divisões da casa acompanhar o desenvolvimento humano, levará também a uma racionalização da oferta em relação à procura.

A título de exemplo, considerando o sistema completamente implantado e difundido na sociedade, um indivíduo independente que decida construir a sua habitação, normalmente apenas necessitará de um reduzido número de compartimentos/módulos, p.ex uma tipologia T0.

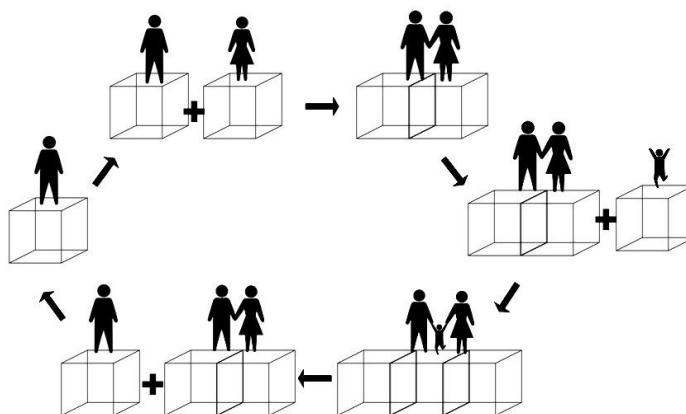


Figura 1. Possível ciclo de vida de uma habitação modular reutilizável

Caso decida constituir família, o 2º agregado poderá trazer consigo outros módulos provenientes de anteriores habitações ou comprados à *posteriori*, com a finalidade de aumentar as áreas ou número de compartimentos, p.ex: tipologia T1. Mais tarde, com o crescimento do agregado familiar, gera-se uma necessidade de novos compartimentos que, mais uma vez, poderão ser adquiridos e adicionados à habitação inicial, formando um sem número de tipologias variadas. Eventualmente com o envelhecimento do casal e com a emancipação dos seus filhos, estes poderão levar consigo alguns módulos para a constituição da sua própria habitação dado que, na sua ausência, os módulos já não seriam necessários na habitação original. Isto resulta ainda numa diminuição de encargos e tarefas para o agregado familiar inicial, que não necessitará de assegurar a manutenção de uma casa com dimensões muito superiores às necessárias.

Assim, pretendem-se dimensionar todos os elementos estruturais, as suas ligações, sistema de piso, sistema de cobertura e sistema de fachada necessários à implementação do mesmo, respeitando as condicionantes enumeradas. Dado que este sistema será desenvolvido de raiz, será necessário respeitar diversas questões do âmbito legal obrigatório em Portugal e na União Europeia, nomeadamente os regulamentos que dizem respeito à segurança e às acções nas estruturas, bem como a compartimentação mínima obrigatória das habitações. Para além das condicionantes já referidas, e tendo em conta as preocupações ambientais actuais, é importante a sustentabilidade ambiental e energética, assim como a pegada ecológica resultante do sistema. Sempre que possível deverão ser utilizados materiais sustentáveis, cuja produção e aplicação não prejudique o meio ambiente.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA TESE

A organização do presente trabalho divide-se em 6 capítulos: o primeiro dedicado a uma nota introdutória, com a definição de objectivos e a motivação para a realização do trabalho. O segundo capítulo apresenta uma vista geral sobre o conceito da construção modular, a sua definição e sistemas construtivos modulares existentes. No terceiro capítulo definem-se as bases do sistema modular a dimensionar. Por sua vez os capítulos 4 e 5 são dedicados à escolha e apresentação das soluções adoptadas nomeadamente quanto à estrutura principal, ao sistema de piso, fachada e cobertura. No último capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho realizado.

2. CONSTRUÇÃO MODULAR: CONCEITO, HISTÓRIA E SISTEMAS MODULARES ACTUAIS

O presente capítulo resulta da pesquisa e recolha de informação sobre o conceito da construção modular, a sua origem, história e actualidade. A pesquisa sobre o assunto foi essencialmente realizada através da internet. Esta situação, aliada ao facto de parte da bibliografia remontar à primeira metade do século XX, levou a que não houvesse acesso a alguns documentos. Assim sendo, a consulta de informação foi feita de forma indirecta, nomeadamente através do trabalho de terceiros baseados nestes.

Pretende-se neste capítulo apresentar uma perspectiva histórica sobre o assunto, sobre o conceito subjacente e sobre os sistemas construtivos modulares disponíveis actualmente, com ênfase nos de origem nacional.

2.1. HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO MODULAR

O conceito de construção modular é antigo, tendo sofrido diversas evoluções ao longo do tempo. Usualmente, a ideia aceite pela generalidade das pessoas é que a construção modular é um tipo de construção feita através de “módulos”, “caixas” ou “contentores” pré-fabricados, que são transportados até ao local de implantação, ligados entre si e colocados sobre o solo ficando prontos a habitar. Acontece que esta ideia é demasiado redutora e imprecisa de um conceito que em muito se poderá adequar aos dias de hoje.

O recurso da arquitectura à utilização do módulo remonta à antiguidade. Desde a cultura Egípcia, ao povo Grego e aos Romanos, que a utilização do módulo como unidade padrão vem sendo adoptada. Mais recentemente desde o início do século XX, diversos arquitectos como Le Corbusier, Frenartu e outros, estudaram de forma mais científica a aplicação das dimensões padrão na construção e arquitectura moderna. Diversos autores dividem a história da

construção modular em 3 etapas cronológicas, CRUZ (2007) e BREGATTO (2008):

- Dos primórdios da humanidade e das primeiras civilizações humanas até ao início do século XVIII;
- Do início do século XVIII até á primeira metade do século XIX, período referente à Revolução Industrial;
- Da segunda metade do século XIX até à actualidade;

2.1.1. Primeiro período, antiguidade:

Alguns autores como FILHO (2007) afirmam que na antiga civilização Egípcia existia uma relação modular entre as antigas pirâmides e os blocos de pedra utilizados na sua construção, dado que segundo BREGATTO (2008) “o módulo utilizado pelos Egípcios estava relacionado muito mais com as dimensões necessárias das pedras para a construção da pirâmide, do que com a capacidade que os trabalhadores tinham para transportá-las”,

Por sua vez o povo Grego utilizava a proporção dos elementos para expressar a beleza e a harmonia das suas construções, FILHO (2007). Nos seus templos, a unidade básica utilizada era o diâmetro das colunas, que multiplicado e dividido, gerava todas as dimensões dos elementos e espaços que caracterizam aquela arquitectura, BREGATTO (2008).

Segundo BREGATTO (2005) a altura das colunas deveria ser seis vezes o diâmetro da base da coluna e a altura do entablamento um terço da altura da coluna. Desta forma, a única proporção invariável era a medida proporcional entre o diâmetro e a altura da coluna. Observa-se ainda que o diâmetro das colunas poderia variar em cada edifício, pois não era considerado em termos de uma unidade de medida absoluta, e sim de uma unidade relativa. No entanto, a proporção entre o diâmetro e a altura da coluna era sempre a mesma.

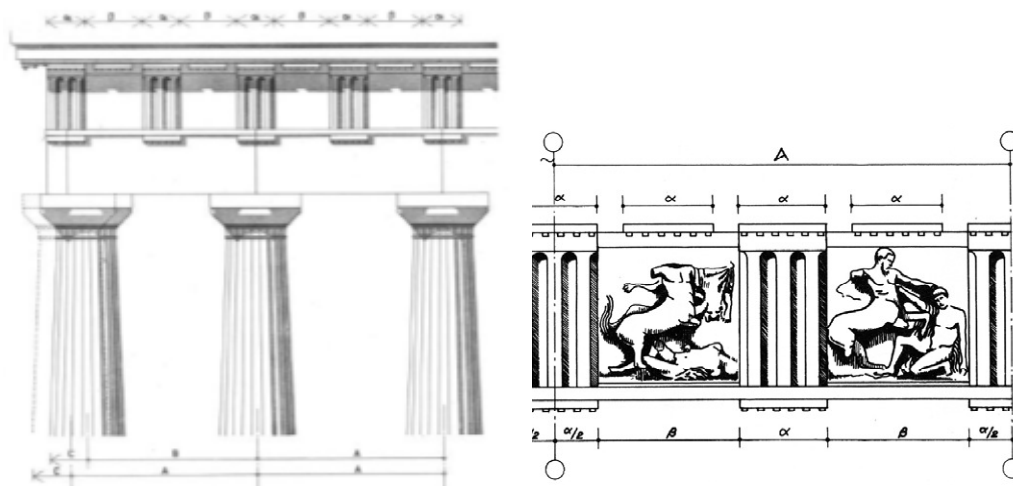


Figura 2. Exemplo da aplicação de uma medida modular nas colunas dos templos gregos GREVEN e BALDAUF (2007)

Por sua vez, o povo romano adoptou um conjunto de medidas antropomórficas, sobre as quais produzia grande parte dos seus elementos construtivos, BALDAUF (2004). A título de exemplo, os tijolos romanos eram produzidos em 2 dimensões padrão distintas. Para além disso, o planeamento dos edifícios e cidades era feito recorrendo a um quadriculado, cuja medida base era o *passus romano*, medida múltipla do pé. Também a cidade de Emona (actual Liubliana, Eslovénia) era baseada num módulo de 60 *passus*, resultando nas dimensões finais de 360 por 300 *passus* BREGATTO (2008).

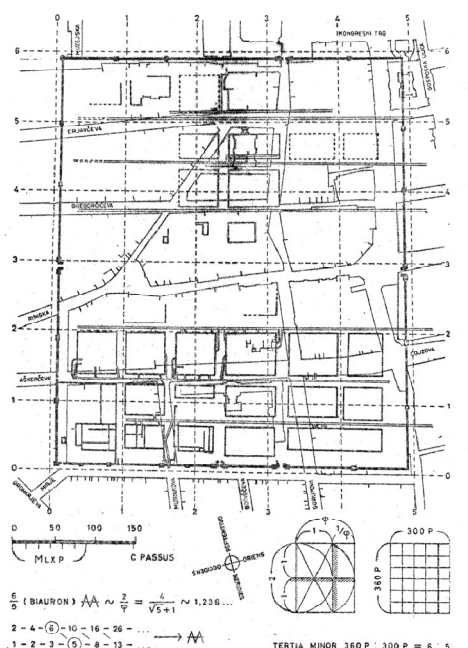


Figura 3. Planta da cidade de Emona GREVEN e BALDAUF (2007)

Mais tarde, na segunda metade da idade média os japoneses adoptaram na sua arquitectura residencial uma dimensão base, o *ken*, medida que foi normalizada para ser utilizada na arquitectura habitacional, BREGATTO (2008), Esta medida evoluiu posteriormente para uma trama modular que regia toda a estrutura, materiais e espaços da arquitectura japonesa, CHING (1998), segundo GREVEN e BALDAUF (2007).

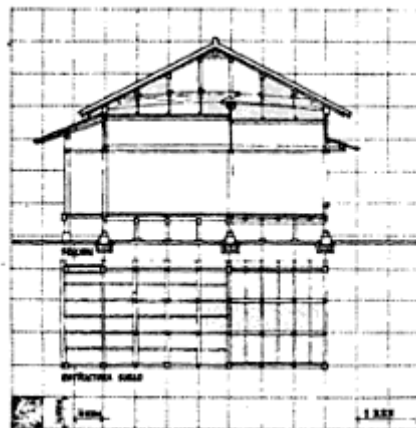


Figura 4. Casa típica japonesa realizada com o sistema modular *ken* KOTHER, et al. (2006).

Por sua vez, a trama modular denominava-se *tatame*, que era basicamente um módulo rectangular com proporções 1:2 (aproximadamente $\frac{1}{2} \times 1$ *ken*). As dimensões do *tatame* eram baseadas nas necessidades humanas, antropomórficas, pois eram as medidas que permitiam que duas pessoas estivessem de forma confortável sentadas ou uma pessoa deitada a dormir. Para além disso, as dimensões do módulo, relativamente pequeno, permitiam uma disposição de espaços rectangulares totalmente livre, podendo seguir modelos lineares, agrupados ou arbitrários conforme a Figura 5, CHING (1998), segundo GREVEN e BALDAUF (2007).

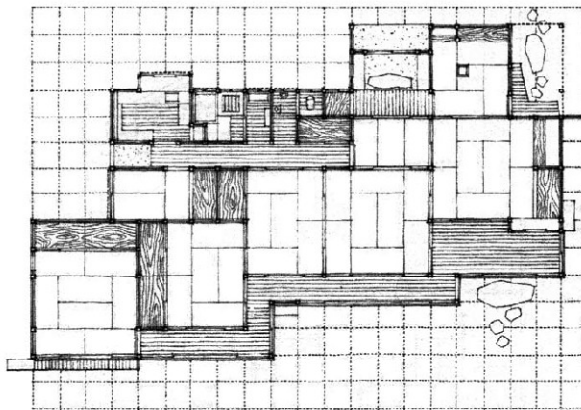


Figura 5. Planta de casa típica japonesa com o sistema modular *ken*, KOTHER, et al. (2006).

2.1.2. Segundo período, revolução industrial:

Segundo BREGATTO (2005), com o advento da revolução industrial, o desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas de processamento de materiais permitiu uma utilização diferente e mais sistematizada de materiais como o aço e o vidro. O aparecimento da indústria permitiu também a produção em série de elementos construtivos pré-fabricados de forma mais rápida, eficiente e de forma padronizada.



Figura 6. Palácio de cristal, ícone da construção modular na época da revolução industrial UFSC (2003)

A primeira grande aplicação nesta época da construção modular, foi o palácio de cristal projectado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851 para a exposição universal de Londres, ROSSO (1976). Este palácio, sobejamente

conhecido, era uma estrutura em elementos pré-fabricados de aço e vidro, com uma área coberta de 71.500 m². A estrutura era desmontável e foi edificada em apenas 9 meses. A edificação conseguiu conjugar uma diversidade de elementos coordenados entre si, através de uma rede modular, com a padronização e industrialização dos mesmos a ter um papel preponderante sobre os limites económicos e de tempo de construção.

A dimensão dos módulos foi condicionada pelas dimensões com que se produziam as placas de vidro, que à época eram de cerca de 240 cm², resultando numa malha que ordenava os diversos elementos segundo múltiplos e submúltiplos desta unidade, GREVEN e BALDAUF (2007).

Esta estrutura foi marcante, pois antecipou em cerca de um século questões como a industrialização da construção, a substituição das dimensões métricas habituais por dimensões modulares e a produção padronizada de elementos construtivos.

2.1.3. Terceiro período, actualidade.

A edificação do palácio de cristal marcou a construção da época, pois nos anos seguintes diversas estruturas com características semelhantes foram construídas pelo mundo fora. Para além disso, durante a segunda metade do século XIX, a construção modular foi aplicada a diversos tipos de estruturas para além das habitações, nomeadamente hospitais e estações de comboio. Acontece que depois desta época de expansão, verificou-se um declínio da construção modular, resumindo-se ao mercado de casas pré-fabricadas, FILHO (2007).

A difusão de casas pré-fabricadas deu-se particularmente nos estados Unidos da América, RAMOS (2007), GAFFEY, et al. (2006). Essencialmente eram habitações construídas em madeira, cuja produção era efectuada em unidades fabris de forma massiva, disponibilizando diferentes modelos de casa. A comercialização era feita em *kits* com todas as peças necessárias à montagem e que chegavam atingir as 30,000 peças, GAFFEY, et al. (2006). A venda era feita junto do cliente através de consulta de catálogo.



Figura 7. Exemplo da montagem de uma habitação prefabricada, GAFFEY, et al. (2006)

Desta forma, tornou-se possível disponibilizar ao público em geral casas a preços competitivos e compatíveis com os rendimentos da época, tornando-se assim numa importante solução de habitação no mercado norte-americano. Apesar do seu sucesso, este tipo de habitações eram conhecidas por serem construções de fraca qualidade e de estética duvidosa, RAMOS (2007).

No entanto, durante a segunda década do século XX, com o avançar da industrialização mundial e a necessidade do sector da construção se adaptar ao espírito de racionalismo e industrialização inerentes, diversos arquitectos como Le Corbusier, Walter Gropius, Alfred Farwell Bemis viraram o seu estudo para a pré-fabricação e construção modular, RAMOS (2007).

Exemplo disso foi Le Corbusier, arquitecto suíço, em 1919, que elogiou a pré-fabricação de habitações em detrimento das casas tradicionais, dando como mais-valia habitações flexíveis e adaptáveis às necessidades do Homem. Este testemunho está registado no ensaio escrito pelo arquitecto “Mass Production Houses” RAMOS (2007). Mais tarde, em 1921, o mesmo autor declarou que era preciso que as casas fossem produzidas em série, em fábricas com linhas de montagem tal como a Ford montava seus automóveis, CHEMILLER (1980), via GREVEN e BALDAUF (2007).

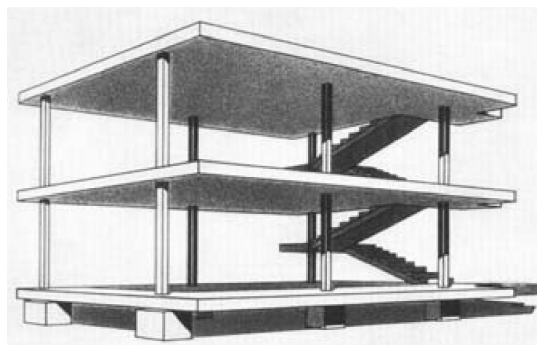


Figura 8. Sistema Dom-Ino, Arquiteto Le Corbusier, 1914/17:

Dentro desse pensamento Le Corbusier criou o sistema “Dom-Ino”, um sistema composto por módulos tridimensionais em betão de dimensões estandardizadas que se pretendia que fosse produzido industrialmente. Este sistema permitia a construção de casa até 2 pisos sem recurso a paredes-mestras, permitindo a escolha livre da arquitectura interna, CASTELO (2008).

Também na escola de design, artes plásticas e arquitectura de Bahaus na Alemanha fundada por Walter Gropius e George Muche, sob a supervisão de Adolf Meyer, desenhou um sistema de habitação modular denominado *A Haus am Horn*, WEIMAR (2009). Este sistema foi construído aquando da exposição da escola em 1923, e pretendia oferecer o melhor conforto e distribuição de espaço ao mais baixo preço possível, RAMOS (2007).

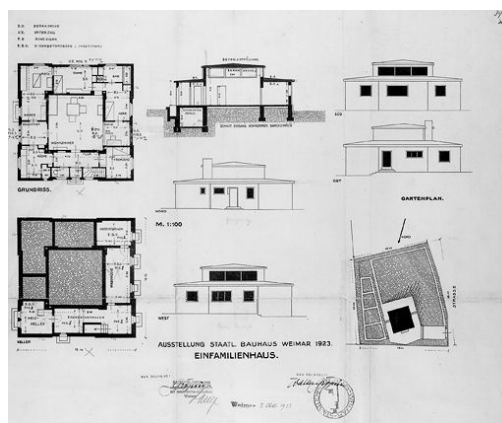


Figura 9. Plantas e alçados da casa A Haus am Horn MUCHE (1923)

Walter Gropius desenhou ainda duas habitações dentro da metodologia modular: o bairro operário de Weissenhof em 1927 e a “casa ampliável” em

1932. Estas habitações foram construídas recorrendo a elementos pré-fabricados, estrutura metálica e vedação em painéis de cortiça revestidos. Por sua vez, a “casa ampliável” permitia a sua ampliação e crescimento por adição de elementos volumétricos, CASTELO (2008).

Mais tarde, em 1951, Jean Prouvé impulsionou também o conceito da pré-fabricação ao desenvolver diversos projectos, dos quais de destaca a Tropical House (1951) - uma espécie de cabana tropical desmontável em alumínio.



Figura 10. Tropical House, ARKFO (2008)

Mas como indica BREGATTO (2008), a grande evolução da construção modular na época foi essencialmente a nível conceptual. Alfred Bemis no seu livro *The Evolving House* apresentou a primeira pesquisa sobre a utilização da modulação na construção civil. Foi a partir desta publicação que diversas entidades norte-americanas e europeias decidem estudar e desenvolver normas para a normalização da construção.

Nesta altura Le Corbusier inspirando-se nas unidades de medidas das civilizações da antiguidade escreve “*Modulor*”, um livro bastante inspirador para a época, que definia um sistema de proporções obtidos a partir das dimensões do corpo humano, da secção áurea e da serie de fibonacci, FILHO (2007). Este era um sistema de proporcionalidades antropomórficas, que pretendia harmonizar as características do ser humano com as dimensões produzidas industrialmente, GREVEN e BALDAUF (2007). Paralelamente, Ernest Neufert elaborou um estudo sobre condenação dimensional resultando num sistema

octamétrico, cuja medida base de 12,5 cm foi utilizada na reconstrução da Alemanha após a II guerra Mundial, GREVEN e BALDAUF (2007) .

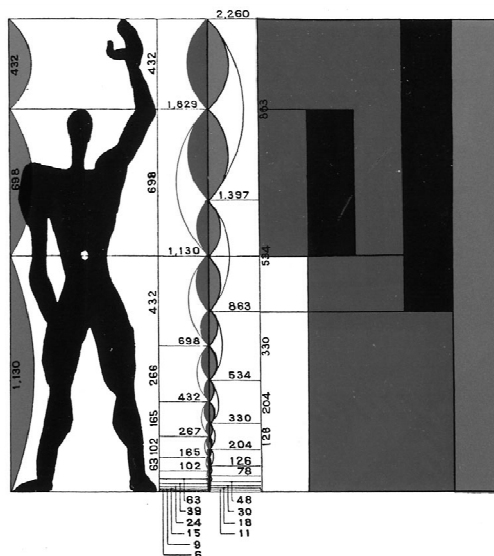


Figura 11. Modulor, sistema modular clássico desenvolvido por Le Corbusier nos anos 40 MACEDO e SILVA (2007)

Mais tarde, em 1956, através de estudos e resoluções da AEP (Agência europeia para a produtividade), declarou-se como dimensão padrão para os países com sistema métrico o módulo de 10 cm, ou 4 polegadas (10,16 cm) para os países que utilizassem o sistema pé-polegada, sendo que na Alemanha, fruto do sistema desenvolvido por Neufert, coexiste ainda o sistema octamétrico, GREVEN e BALDAUF (2007).

2.2. O CONCEITO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

Neste ponto interessa definir com exactidão o conceito de construção modular. Diversos autores referem-se de forma diferente a esta forma de construir. Alguns referem-se a ele como “coordenação modular”, outros simplesmente “construção modular” e ainda “coordenação dimensional modular”.

Segundo CASTELO (2008), a definição de coordenação dimensional modular é:

“(…)Uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a concepção e a construção de edifícios, o que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto a liberdade de concepção arquitectónica dentro de valores aceitáveis. “

Ora esta metodologia pretende, através da standardização das dimensões dos componentes, racionalizar todo o processo de construção, desde a fase de projecto até à montagem final.

Na fase de projecto a racionalização ocorre na agilização de procedimentos, pois executar uma planta ou projecto novo será um processo mais rígido e menos personalizável. Este terá como base o recurso a elementos predefinidos e pré-calculados, tornando-se assim o projecto, de uma forma resumida, numa definição da disposição dos elementos entre si e no meio que o rodeia, tendo subjacente uma malha quadriculada modular. Este facto resulta também numa economia de custos inerentes à consideração habitual, personalização de cada habitação, que exige *a priori* um estudo detalhado sobre a habitação a construir.

Por sua vez, o processo de construção é executado em duas fases distintas: inicialmente os elementos que constituem o sistema são produzidos em fábrica, e posteriormente transportados e montados na local de implantação. A racionalização poderá ocorrer em ambos os processos. O recurso à produção em série poderá resultar numa diminuição de custos, para além de possibilitar a adopção de melhores sistemas de controlo da qualidade, permitindo o aumento qualitativo individual das peças.

O processo de montagem implica por norma um grande dispêndio de mão-de-obra, que poderá ser severamente diminuído se os elementos construtivos tiverem mecanismos de montagem simplificados, sem necessidade de cortes, sobreposições ou qualquer tipo de alteração à sua morfologia inicial.

Ou seja, com o recurso à metodologia de coordenação dimensional modular, poderão obter-se ganhos significativos na eficiência global do sistema,

reflectindo-se no custo final da habitação, na qualidade da mesma e no tempo de construção.

Para o correcto funcionamento desta metodologia, é necessário implementar e definir alguns conceitos base como:

- Sistema referencial;
- Sistema modular de medidas;
- Sistema de ajustes e tolerâncias;
- Sistema de números preferenciais;

2.2.1. Sistema referencial

Para que o sistema funcione da melhor forma possível é necessário criar um sistema geométrico de referência no espaço, à semelhança dos sistemas cartesianos, constituídos por eixos, pontos, linhas e planos. Assim será possível orientar os elementos construtivos fomentando a sua compatibilidade e facilitando a sua localização. O sistema referencial tanto pode ser um sistema tridimensional como bidimensional. O sistema de poderá ser utilizando durante o dimensionamento dos elementos, na implantação da obra no terreno ou depois na sua execução, CASTELO (2008) e BALDAUF (2004).

2.2.1.1. Sistema geométrico de referência

Um sistema reticulado modular espacial de referência ou um sistema geométrico de referência, é um sistema composto por planos que se intersectam perpendicularmente, distanciados entre si por uma distância igual ao módulo, formando assim uma malha tridimensional, CASTELO (2008; GREVEN e BALDAUF (2007).

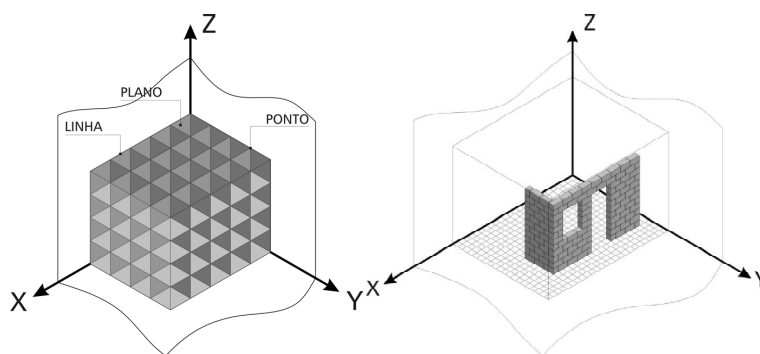


Figura 12. Exemplo de aplicação do sistema geométrico de referência GREVEN e BALDAUF (2007)

2.2.1.2. Malhas modulares

Com o intuito de complementar o sistema geométrico de referência, considera-se também um sistema referencial no plano. Este sistema denominado de malha, é um sistema de 2 dimensões, cuja malha a considerar poderá ser mais ou menos apertada consoante a pormenorização do trabalho a realizar. Por norma consideram-se as seguintes malhas CASTELO (2008), FILHO (2007), GREVEN e BALDAUF (2007):

- Malha modular básica: utilizada no projecto de componentes e detalhes;
- Malha modular de Projecto: malha utilizada na criação do projecto geral da edificação;
- Malha modular estrutural: malha que auxilia no posicionamento de elementos estruturais;
- Malha modular de Obra: malha utilizada na localização e orientação do edifício;

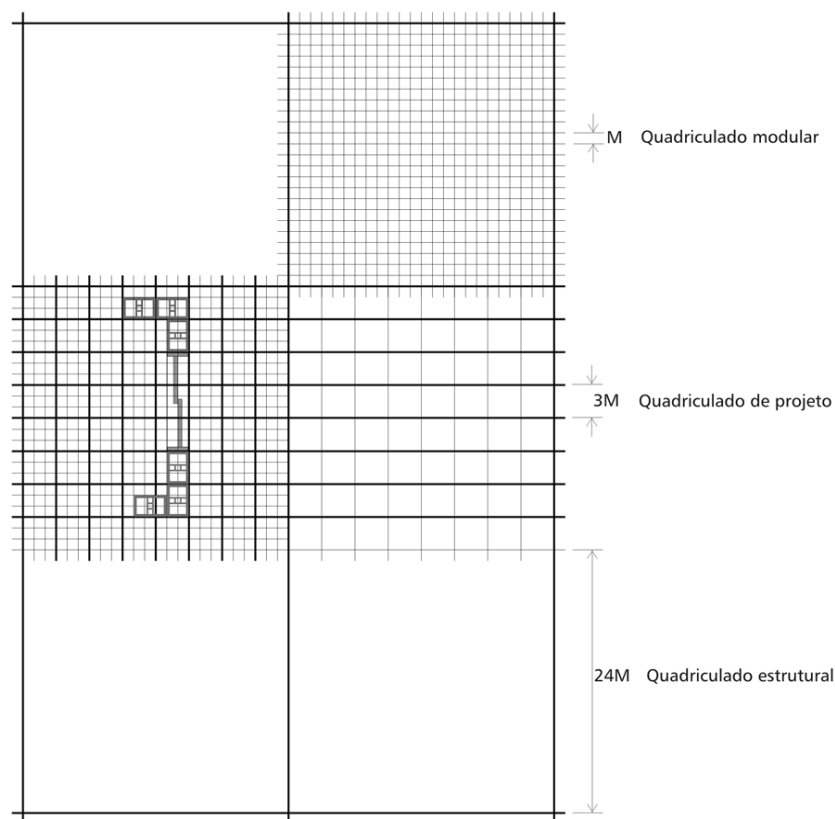


Figura 13. Exemplo da aplicação das malhas modulares GREVEN e BALDAUF (2007)

2.2.2. Sistema modular de medidas

Este sistema pretende normalizar as dimensões dos elementos, com base na utilização de apenas algumas dimensões base, múltiplos inteiros ou fraccionários previamente seleccionados da dimensão módulo base. As características deste sistema, segundo MASCARÓ (1976) citado por GREVEN e BALDAUF (2007), deverão ser:

- Conter as medidas funcionais e de elementos construtivos típicos;
- Ser aditiva em si mesma;
- Assegurar a intercambialidade das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou submúltiplas do módulo.

Acontece que, devido à extensa variedade das dimensões dos elementos de uma habitação, é necessário que exista um sistema que mantenha a proporcionalidade dos elementos. Para tal, recorre-se ao conceito de multimódulos e submódulos, CASTELO (2008), FILHO (2007), GREVEN e BALDAUF (2007).

2.2.2.1. Multimódulo

Multimódulo utiliza-se nos elementos de maiores dimensões, e é uma dimensão maior que o módulo um numero inteiro de vezes ($n.M$). Segundo alguns autores, estes poderão ir de 3M a 60M.

2.2.2.2. Submódulo

Pelo contrário, submódulo é um elemento que representa a divisão da unidade modular básica (M/n) cuja base usualmente é 2 ou 4.

2.2.2.3. Medida modular

Entende-se como medida modular a soma da dimensão nominal do componente com a dimensão nominal das respectivas folgas. A medida modular serve para que as dimensões definidas no projecto possam ser correctamente executadas em obra, não correndo o risco de os elementos se sobrepirem.

2.2.3. Sistema de tolerâncias e juntas construtivas

Em qualquer sistema construtivo é necessário promover a compatibilidade entre elementos e respectivos materiais. Nos sistemas mais tradicionais este ponto não se revela crucial, mas num sistema modular e pré-fabricado, é necessário garantir que todos os elementos encaixam devidamente, de forma a desempenharem a sua função correctamente, CASTELO (2008).

É necessário ter em conta a montagem em obra, dado que deverá ser realizada sem recurso a adaptações, cortes ou qualquer tipo de alteração

relevante dos elementos. O desrespeito a este princípio poderá levar a uma quebra na eficiência dos processos construtivos, diminuindo a eficiência do sistema.

As juntas deverão ter em conta as variações dimensionais causadas pelos processos construtivos, variações térmicas e deformações, prevendo elementos sobrejuntas

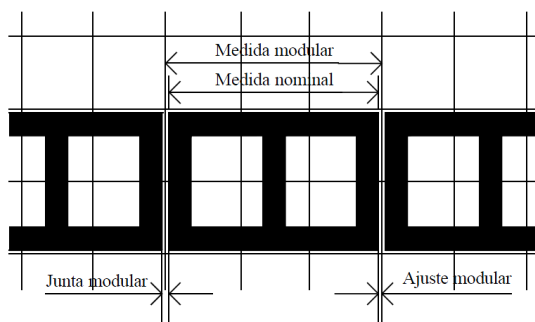


Figura 14. Ilustração do sistema de tolerâncias e juntas construtivas GREVEN e BALDAUF (2007)

2.2.4. Sistema de números preferenciais

Em função das características, limitações, ligações e da optimização do tipo e número de formato de cada componente, utiliza-se um sistema de números preferenciais. Essencialmente, é um sistema em que a produção dos elementos se desenrola segundo multimódulos ou submódulos escolhidos de forma a obedecer a regras numéricas selectivas, que permitem ainda uma selecção mais organizada dos mesmos ROSSO (1976) citado por BALDAUF (2004). A título de exemplo, um número preferencial usualmente utilizado pela indústria do *Light Steel Framing* (que será abordado no capítulo 2.3.2.1 e 2.3.2.2), é 600 mm. Usualmente adoptado na medida dos painéis de gesso cartonado, por sua vez na produção de painéis de derivados de madeira, adopta o dobro desta medida (1200 mm), GREVEN e BALDAUF (2007).

2.3. PRINCIPAIS SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO MODULAR

A definição de construção modular anteriormente apresentada, permite que se considere um largo número de sistemas construtivos como sistemas de construção modular. Desde sistemas altamente pré-fabricados cuja única tarefa em obra é a colocação no local desejado, a sistemas de construção a seco completamente montados no local por encaixes sucessivos da sua estrutura, até sistemas mais complexos em que a modularidade se baseia na dimensão dos seus elementos estruturais, o conceito de construção modular abarca um grande e variado número de sistemas e produtos.

Assim sendo, pretende-se dar a conhecer neste subcapítulo uma diversidade de sistemas construtivos modulares que representam a variedade existente no mercado mundial. Pretende-se também, dar ênfase a sistemas de origem portuguesa, pois apesar de não haver uma cultura no país de consumo de habitação não convencional, é de destacar os produtos criados e fabricados a nível nacional.

2.3.1. Classificação de sistemas construtivos modulares

Antes de apresentar os sistemas modulares individualmente ao leitor, é proposto organizar uma classificação para os diversos sistemas modulares. Esta classificação terá por base a morfologia individual de cada sistema assim como o sistema de montagem. Assim sendo, tendo por base LAWSON (2007) apresenta-se a seguinte classificação:

- Sistemas modulares fechados, tipo células: módulos cuja forma e o desempenho se podem assemelhar a contentores de transporte marítimo. O espaço interior vem já previamente preparado e a sua função não pode ser alterada. Este tipo de módulo acarreta um elevado grau de padronização e pré-fabricação, estando estes praticamente prontos após a sua implantação. A forma e dimensões dos módulos não permitem grande variedade no aspecto final da habitação. Consoante o produto em questão estes podem ser empilháveis, ligados entre si ou suspensos por uma estrutura metálica principal que funciona como esqueleto.



Figura 15. Exemplo de sistemas modulares fechados 5OSA (2009) (à esquerda) LOFT CUBE (2011) (à direita)

- Sistemas parcialmente abertos: estruturas semelhantes às anteriores, mas com aberturas laterais que permitem a sua ligação a outros módulos, quando dispostas simetricamente. Dependendo das especificações dos módulos, estes podem ser empilháveis até vários módulos de altura.



Figura 16. Exemplo de sistemas modulares parcialmente abertos LAWSON (2007) (à esquerda) SPACE (2007) (à direita).

- Sistemas abertos: como o nome indica são módulos completamente ou parcialmente abertos dos 4 lados, constituídos por vigas que suportam os pisos e pilares nos cantos. Estes módulos podem ser agrupados segundo diferentes direcções com o intuito de criar espaços cobertos maiores. Os módulos podem ser ligados segundo direcções distintas, permitindo assim um maior número de configurações.



Figura 17. Exemplo de sistemas modulares abertos RADZINER (2005) (à esquerda e à direita).

- Sistemas construtivos de elementos modulares: Nestes sistemas não existe uma definição de módulos enquanto caixas fechadas ou abertas. O sistema é modular pois os seus elementos estruturais e não estruturais são fabricados com dimensões padrão base, de modo a que sejam ligados de forma rápida e eficaz. Por norma, têm um grau de pré-fabricação menor mas permitem um grau de customização maior. Normalmente permitem produzir painéis pré-fabricados de pisos e paredes.



Figura 18. Exemplo de sistemas construtivos de elementos modulares CENTURYTEEL (2009c) (à esquerda e à direita)

- Sistemas mistos ou híbridos: Sistemas em que os diversos sistemas se misturam para compor a estrutura final da habitação.

2.3.2. Sistemas Modulares

2.3.2.1. Light Steel Framing – Sistema de elementos modulares

Segundo CENTURYTEEL (2009c), Light Steel Framing traduz-se em Português por estrutura de aço leve, utilizando-se a abreviatura L.S.F. para designar este tipo de construção. Este sistema construtivo é um sistema de elementos modulares, dado que recorre a um esqueleto metálico constituído por perfis de chapa fina enformada a frio. Ainda segundo STEEL (2009), as chapas são moldadas a frio a partir de chapa de aço galvanizado da classe S280 a S350.

Desta forma, possuem características físicas e mecânicas que cumprem o especificado nas normas da American Society for Testing and Materials e também o eurocódigo 3, parte 1-3. As chapas de aço são protegidas contra a corrosão através do processo de imersão em banho quente (galvanização a quente) de zinco ou zinco-alumínio. Segundo STEEL (2009) o processo mecânico de moldagem das chapas de aço galvanizado permite obter peças de grande precisão, o que facilita o processo construtivo. Para além disso, os perfis são fabricados já com orifícios que permitem a passagem de cablagem e tubagem.

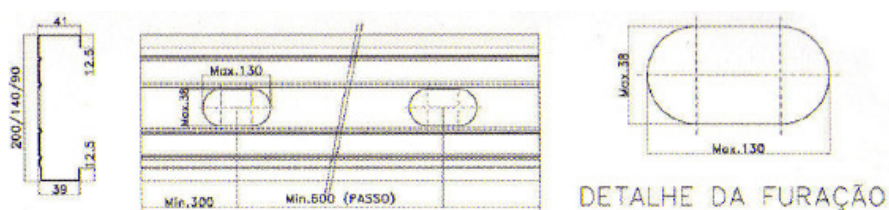


Figura 19. Detalhe de furação perfil L.S.F. RODRIGUES (2006)



Figura 20. Passagem de cablagem pelo interior de perfis L.S.F, SOMUNDYBRASIL (2008)

Este método construtivo evolui a partir de painéis executados com as chapas de aço galvanizado. Estes são utilizados como paredes estruturais e permitem a execução de construções até quatro pavimentos sem estruturas auxiliares. Os painéis são produzidos em fábrica e só depois transportados até à obra onde são ligados entre si. Devido à facilidade de configuração dos diferentes painéis, o sistema permite a realização de projectos personalizados e o tempo de construção da estrutura, paredes e cobertura e moradias com este processo vai desde os 8 aos 20 dias CENTURYTEEL (2009c).

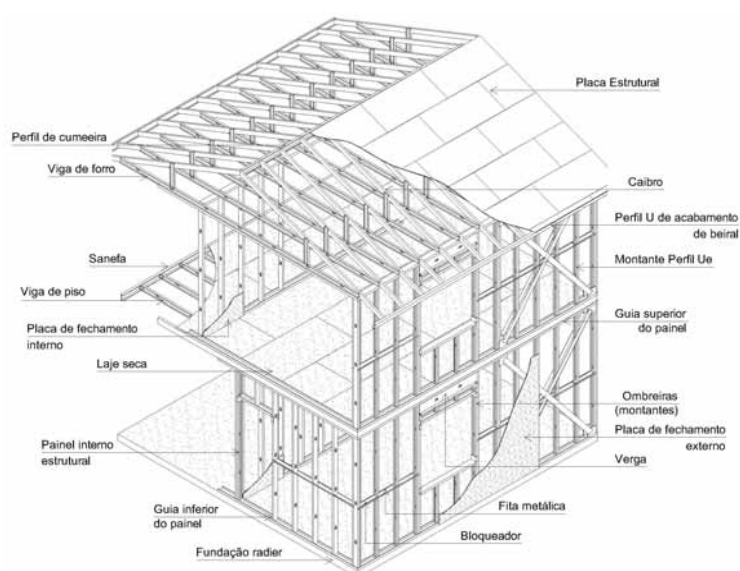


Figura 21. Esquema de moradia realizada em L.S.F. RODRIGUES (2006)

Segundo CENTURYTEEL (2009c), na execução dos painéis de parede, a chapa é dobrada formando um perfil em "C" que forma a parte lateral dos painéis autoportantes, sendo a parte superior feita com perfil "U". Os painéis são aparafusados entre si com parafusos auto-perfurantes atribuindo assim rigidez ao sistema. A largura destes painéis metálicos é de 0,40 m ou 0,60 m e para a colocação de portas e janelas utilizam-se painéis com medidas especiais.

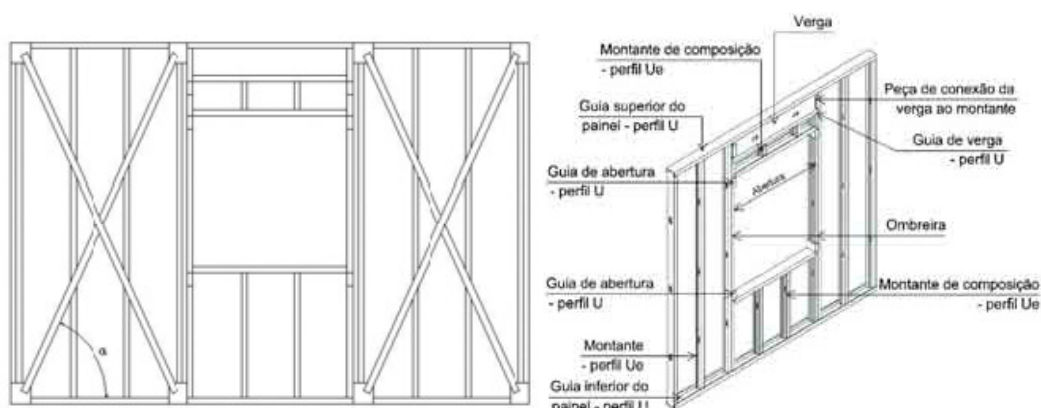


Figura 22. Exemplo de perfis de parede realizados em L.S.F. RODRIGUES (2006)

Segundo o mesmo autor, as fundações deste sistema construtivo podem ser executadas de várias formas. Usualmente por facilidade recorre-se a uma laje de betão (ensoleiramento geral) onde a estrutura assenta, mas outros tipos de fundação podem ser utilizados dado que o peso próprio da estrutura e as cargas a que o sistema está sujeito são pequenas. Apenas se as condições mecânicas do solo forem muito desfavoráveis é que se adaptam outros tipos de fundações.

Por sua vez, as paredes são revestidas a placas de madeira aglomerada e orientada conhecidas como OSB (Oriented Strand Board), sendo estas fixas com recurso a parafusos auto-perfurantes.



Figura 23. Exemplo de placa de OSB TIMBER (2011)

A sua resistência estrutural resulta da disposição das partículas de madeira, que inicialmente são orientadas numa única direcção, sendo depois as camadas adicionais sobrepostas perpendicularmente, formando uma placa final com elevada resistência. Esta técnica proporciona placas de madeira com peso médio de 640 kg/m^3 , e módulo de rotura de 36 Mpa segundo a direcção axial e 16 Mpa na direcção perpendicular STEEL (2009).

As paredes podem ser isoladas de diferentes formas: com lã de rocha colocada entre os painéis de madeira e os painéis metálicos, ou com poliestireno expandido, que tanto pode ser colocado no interior da parede ou no seu exterior. É normal colocar no exterior da parede a fim de obter uma maior inércia térmica do edifício.

De novo segundo STEEL (2009), o revestimento interior das paredes é feito com recurso a placas de gesso cartonado. O gesso cartonado é comercializado em placas de 1200 mm de largura com 2600 ou 3000 mm de altura, com uma espessura de 11 mm. Estas placas são aparafusadas na estrutura metálica das paredes com parafusos auto-perfurantes. O remate nas juntas dos diversos painéis é feito com fita de papel e massa especial, e sobre as placas de gesso podem-se aplicar tintas de látex ou papel de parede.

Por sua vez, os pisos são executados através de treliças ou perfis simples consoante os vãos e as cargas que terão de vencer. Quando a estrutura suporte é montada, é coberta com placas de OSB de forma a funcionar como um pavimento. Existe também a possibilidade de se executarem finas lajes de betão dependendo das opções tomadas em projecto.



Figura 24. : Exemplo de um piso executado em LSF, SOMUNDYBRASIL (2008)

À semelhança das paredes e dos pavimentos, a estrutura dos telhados é executada através de asnas simples em perfis de chapa de aço, apoiadas sobre as paredes da estrutura. Sobre estas asnas aplicam-se em toda a área a cobrir placas de OSB. Sobre estas aplicam-se as telhas que podem ser de qualquer tipo desde metálicas a cerâmicas.

2.3.2.2. Light Steel Framing – sistema parcialmente aberto

Este método é semelhante ao anterior e, segundo CENTURYTEEL (2009b), baseia-se num conceito modular em que os painéis metálicos formam uma estrutura auxiliar semelhante a um “contentor”. No fundo é o mesmo sistema construtivo mas aplicado como sistema modular parcialmente aberto. O nível de pré-fabricação neste método é maior, pelo que as paredes, pisos, coberturas, instalações e revestimentos internos podem vir já preparados de fábrica. Em obra, apenas é necessário preparar previamente o terreno onde os módulos serão implantados.



Figura 25. Produção e transporte de modulos habitacionais em L.S.F. CENTURYTEEL (2009b)

Os contentores, depois da sua produção, são transportados até ao local de implantação onde são ligados entre si e revestidos exteriormente. Este sistema construtivo devido à sua maior pré-fabricação tem um tempo de construção menor, variando entre as 8 e as 16 horas. Normalmente utiliza-se em obras com um grau de padronização superior e quando existem muitas repetições CENTURYTEEL (2009b). Os materiais utilizados são em tudo semelhantes ao método L.S.F. de painelização já referido no capítulo 2.3.2.1, desde o processo construtivo das sapatas, à execução das paredes, pavimentos e cobertura, o sistema utiliza praticamente da mesma forma os mesmos materiais.



Figura 26. Colocação de módulos em obra CENTURYTEEL (2009b)

De referir que o transporte e colocação destes módulos exige mão-de-obra qualificada e maquinaria pesada para pegar nos módulos e colocá-los correctamente nos locais de implantação.

2.3.2.3. Marmol Radziner

Esta empresa produz casas prefabricadas em aço reciclado. É um sistema modular aberto sendo por vezes misturado com outros sistemas construtivos mais convencionais como o betão e a madeira. Os módulos são preparados em fábrica e são executados de forma semelhante a contentores marítimos. Segundo RADZINER (2005), as dimensões dos módulos variam consoante os módulos em questão. Por norma a largura fixa-se nos 3,6 metros, enquanto o comprimento pode variar entre os 2,4 e os 4,8 metros e a altura destes poderá ir dos 3,3 aos 4,0 metros. A produção dos módulos é feita em fábrica e o transporte para o local de implantação apenas pode ser feito em camiões com

características próprias para o efeito. As habitações são projectos individuais já elaborados, não estando o conceito de modularidade afecto às divisões da casa. Para além disso, não está prevista a adição e ou subtracção de módulos habitacionais.



Figura 27. Produção de módulos em fábrica e colocação em obra, RADZINER (2005)

Conforme se pode ver pelas imagens, para além da estrutura semelhante a um contentor em aço, as paredes são do tipo *dry-wall*, ou seja, são paredes do tipo L.S.F. (assim como as lajes e pavimentos) o que aumenta a leveza dos diversos módulos. Este método construtivo pode-se comparar às estruturas de aço leve já analisadas, isto porque até os acabamentos utilizados interiores e exteriores são semelhantes. A diferença no presente caso é a existência de uma estrutura metálica exterior que confere a rigidez ao módulo.

As fundações podem ser executadas em betão e, para além disso os módulos podem ser combinados com estruturas mistas de aço e betão, devidamente projectadas para acoplar os módulos.



Figura 28. Utilização de módulos habitacionais em estruturas mistas RADZINER (2005)

Ainda segundo RADZINER (2005), as habitações caracterizam-se por serem bastante ecológicas, dado que na sua construção se incorporam structural insulated panels (S.I.P.s) , madeira de origem controlada e certificada, tintas sem componentes voláteis, painéis solares entre outros. O aspecto ecológico reflecte-se também em obra, dado que graças à prefabricação dos módulos o processo de construção é mais limpo, minorando assim o impacto ambiental no local de implantação.

2.3.2.4. Structural Insulated Panels – S.I.P.s

De acordo com CENTURYTEEL (2009a), este método caracteriza-se por ser mais D.I.Y. (Do it Yourself), o que do inglês significa “faz tu mesmo” e que como tal tem o propósito de ser facilmente executável pelo próprio dono de obra, se ele assim o desejar, pois é construído com base num painel sanduíche que já inclui todos os isolamentos térmicos e acústicos necessários ao conforto no interior da casa.



Figura 29. Esquema ilustrativo da construção recorrendo a S.I.P.s, K-PANELS (2010)

Os painéis tanto servem para a construção das paredes exteriores e interiores como para a construção de lajes e cobertura. De acordo com KOSNY, et al. (1999), estes painéis são constituídos por duas placas de “OSB” com cerca de 1 centímetro cada e por uma camada poliestireno expandido com uma espessura de 8 a 14 centímetros, que é responsável pelo elevado isolamento térmico e acústico do sistema.

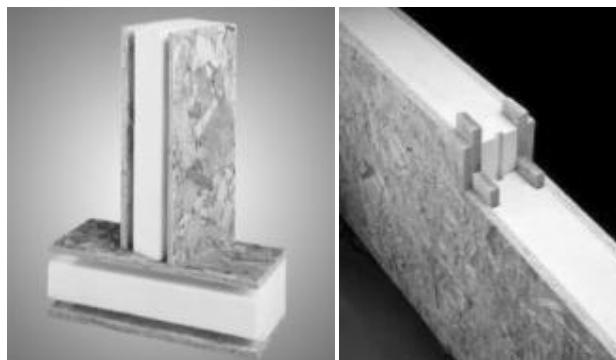


Figura 30. Exemplo de um S.I.P.s MURUS (2009)

Ainda segundo CENTURYTEEL (2009a), os painéis são aparafusados a perfis metálicos no topo e na base dos painéis que se encontram em todo o perímetro da estrutura, formando um esqueleto que lhe dá rigidez. Por vezes, em vez de perfis metálicos é possível ter toda a estrutura executada apenas em madeira, tendo os painéis a função estrutural. Os diferentes painéis podem ser combinados e a abertura para portas e janelas é efectuada durante o processo de montagem recorrendo a perfis em “L”. À semelhança do método da painelização, as dimensões dos painéis ronda os 1200 por 2400 mm. Podem existir perfis do lado exterior a conferir maior rigidez ao painel, que são fabricados com uma espessura de aproximadamente 1 mm, em aço galvanizado e espaçados de 400 a 600 mm.



Figura 31. Interior sem acabamentos de habitação executada a apenas em madeira e S.I.P.'s, DONNALLY (2009)

Depois de toda a estrutura estar montada, aplicam-se os revestimentos à estrutura, sendo que do lado exterior podem aplicar-se uma grande variedade

de rebocos e revestimentos. Do lado interior, o acabamento pode ser executado recorrendo a placas de gesso cartonado. Os painéis e perfis são já fabricados com furação para a passagem da canalização electricidade.

2.3.2.5. Modular System

Segundo MODULARSYSTEM (2010) e RAMOS (2007), este sistema construtivo tem como material base a madeira, e resulta de uma parceria entre os arquitectos Alexandre Teixeira da Silva e Miguel Ribeiro de Sousa. É um sistema modular, que tanto pode ser fechado como parcialmente aberto.

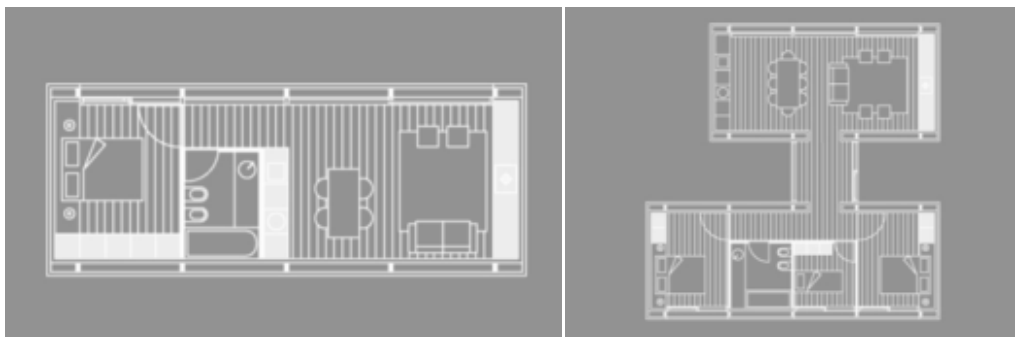


Figura 32. Planta de uma habitação T1 de 4 módulos e T3 de 3 módulos, MODULARSYSTEM (2010)

O aspecto minimalista e design arrojado destas habitações pré-fabricadas, e a filosofia por detrás da sua concepção são um bom exemplo do conceito modular, dado que a configuração de uma nova moradia pode ser feita segundo uma selecção de módulos previamente definidos, que poderão evoluir ao adicionarem-se novos módulos, resultando em novos espaços e funções na casa original, que ganha assim uma dinâmica maior em função das necessidades dos seus habitantes, NOVO (2007).

Para além desta dinâmica intrínseca, e em virtude da configuração do sistema de pórticos consecutivos e alinhados, o sistema em questão permite uma rápida construção, com um tempo mínimo de construção de três meses, sendo que o processo de construção compreende tanto a produção como a implantação em obra, segundo afirma UBIERNA (2008). Os diferentes materiais e peças estruturais que compõem a habitação final são produzidos

em ambientes fabris, que após o transporte são montados em obra pela mesma empresa que procede à sua produção.

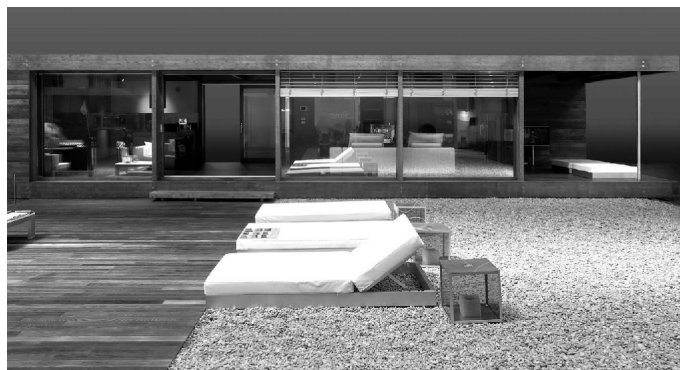


Figura 33. Habitação T0 de 5 módulos Modular System, MODULARSYSTEM (2010)

Segundo IMOBILIÁRIA (2007), o sistema modular compreende uma unidade básica de construção, o módulo, cujas dimensões são 2,50 por 5,80 metros. Multiplicando ou dividindo os diferentes módulos obtêm-se as diferentes divisões da habitação. Ao contrário dos sistemas anteriormente apresentados, o sistema em questão não permite realizar mais do que um piso, não sendo possível “empilhar” módulos para obter casas com pisos múltiplos. Os diferentes módulos podem agrupar-se ou funcionar de forma isolada, dependendo da forma funcional com que a habitação se encontra disposta. É também esta característica de agrupamento e organização de módulos que permite a adição ou substituição de módulos consoante as necessidades.

Para além da opção modular básica em que se agrupam módulos com tamanho pré-definido, existem variações do sistema em que é possível escolher módulos especiais de dimensões maiores, assim como criar casas projectadas de raiz seguindo a filosofia de todo o sistema MODULARSYSTEM (2010). As diferentes peças modulares habitacionais inserem-se em diferentes tipos de topografia, fruto dos seus distanciadores metálicos que assentam nas fundações em betão que servem a estrutura. Esta solução acaba por resultar também numa sobrelevação em relação ao terreno original permitindo respeitar a natureza envolvente e minorando o impacto ambiental.



Figura 34. Habitação T0 de 5 módulos Modular System, MODULARSYSTEM (2010)

O material base utilizado nos elementos estruturais é a madeira lamelada em conjunto com uma diversidade de conectores metálicos, necessários à segurança da estrutura. Nos acabamentos existe uma grande diversidade de escolha. Exteriormente é possível optar por isolamentos térmicos pelo exterior com acabamento em reboco acrílico pigmentado, revestimento em painéis de aglomerado de cortiça e fachadas ventiladas com revestimentos em madeira, ardósia ou até painéis de cimento. As paredes interiores são executadas em placas de gesso cartonado com acabamentos à escolha desde reboco e pintura convencional, painel de madeira, revestimento cerâmico, pastilha de vidro e papel de parede.



Figura 35. Interior de uma habitação Modular System, MODULARSYSTEM (2010)

Por norma a cobertura é feita em tela asfáltica, sendo outras opções a telha de zinco ou cobre ou o recurso a uma cobertura ajardinada. Os pavimentos do

interior da habitação têm uma grande escolha de diferentes madeiras, assim como pavimento cerâmico em diferentes cores.

2.3.2.6. Spacebox

Segundo o site da empresa Spacebox e o seu autor JONG (2003), a ideia base de concepção deste sistema nasceu no Outono de 2002 na Holanda, devido a graves problemas com a falta de habitação para jovens estudantes. Face a esta necessidade, surgiu a ideia do conceito spacebox, um módulo único, fácil de transportar e de implantar em obra e que incorporasse tudo o que um estudante necessitaria para viver.



Figura 36. Aplicação de módulos spacebox e colocação em obra, JONG (2003)

O resultado é um módulo semelhante a um contentor marítimo com 18 metros quadrados, onde estão integradas a casa de banho e a cozinha. Os módulos possuem a capacidade de poderem ser agrupados tanto lateralmente como verticalmente, aumentando a sua área total. O sistema funciona com base numa estrutura metálica exterior que suporta e acopla os vários módulos. Na estrutura estão integrados os passadiços e escadas que dão acesso aos diferentes módulos que podem estar dispostos em diversos andares, dependendo disso a capacidade de estrutura metálica exterior.



Figura 37. Interior de um spacebox e de módulos spacebox ligadas pela estrutura metálica, 5OSA (2009)

Esta estrutura por sua vez descarrega todo o seu peso e das várias spacebox acopladas através de fundações directas executadas em betão. Ainda segundo JONG (2003), o material principal destes módulos é um compósito de origem plástica de nome Resol, com uma película exterior em polyester que permite acabamentos exteriores nas mais diversas cores. Cada parede é composta por cerca de 5 painéis deste material, resultando numa espessura total de 88 mm nas paredes e de 110 mm no caso de pavimento e cobertura. Este material permite também um excelente comportamento energético face ao frio. Apesar de inovador, o material compósito é seguro face a incêndios, respeitando a legislação Holandesa no que respeita a incêndios. O tempo de vida útil estimado para estas habitações é de 30 a 60 anos, JONG (2003).

2.3.2.7. Sit Urban Design

O Sit Urban Design é um método construtivo pré-fabricado, cuja estrutura é composta por betão reforçado com fibras. Este sistema construtivo insere-se nos sistemas modulares parcialmente abertos. Os módulos são construídos em fábrica e posteriormente, recorrendo a auto-gruas, são levantados e colocados no local de implantação sobre bases de betão, não exigindo assim a construção de fundações, DESIGN (2011).



Figura 38. Esquema de produção, transporte e implantação do sistema Sit Urban Design (2011)

Depois da implantação dos módulos, os acabamentos necessários para finalizar a obra são as juntas interiores e exteriores entre-módulos, assim como a realização das ligações de água, esgotos e electricidade dos módulos às respectivas redes.

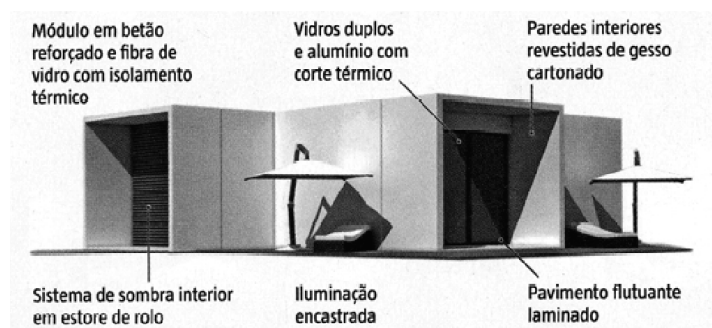


Figura 39. Tipologia T1 do sistema Sit Urban Design, SÁBADO (2009)

Este sistema disponibiliza diversas dimensões base para os módulos em planta: módulos de 4 por 8 metros em planta e com alturas dos 3.06 aos 3.66 metros e módulos 6 por 3 metros com 2.90 metros de altura.

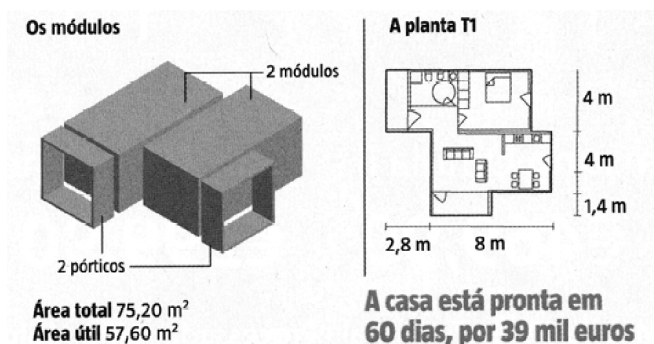


Figura 40. Planta de tipologia T1 sistema Sit Urban Design, SÁBADO (2009)

O facto de o sistema se desenvolver por associação de pórticos sucessivos em betão, e de estar assente no solo, permite que em caso de necessidade os

módulos possam ser deslocalizados para outro local de implantação sem danos para a estrutura. Este facto é também determinante em zonas em que o licenciamento de construções é mais restrito, constituindo uma solução alternativa.

Este produto além de ser produzido em ambiente controlado, seguindo normas de qualidade e segurança, apresenta um preço orçamentado fechado e exacto sem acréscimos além do custo do transporte, que poderá variar consoante o local de implantação. Para além disso, o prazo de execução de uma casa modular ronda os 60 dias, permitindo ainda uma grande variedade de acabamentos à escolha do cliente, DESIGN (2011).

Os materiais utilizados garantem ainda uma elevada durabilidade e resistência, sendo também uma construção limpa e ecológica, mantendo a sustentabilidade do meio ambiente. Para além disso, a utilização de isolamentos térmicos de camada contínua em poliuretano, juntamente com a adopção de caixilharia de alumínio de vidro duplo com corte térmico, resulta num bom comportamento energético da habitação.

3. ABORDAGEM CONCEPTUAL AO MÓDULO

Nesta fase do trabalho, pretende-se definir as características funcionais e as dimensões base do sistema construtivo a projectar. Deverão ser abordados e definidos os princípios sobre as suas dimensões, de forma a conceber um sistema que satisfaça as necessidades dos seus habitantes, que respeite as limitações impostas pelos diversos regulamentos específicos e que permita um sistema de montagem ágil e simplificado mantendo a economia do sistema.

3.1. CONCEITOS DO SISTEMA MODULAR

Conforme referido no capítulo inicial, o objectivo deste trabalho será conceber um sistema construtivo modular industrializado, que permita a edificação de uma habitação. Este deverá cumprir os seguintes objectivos:

- Permitir uma produção em série das habitações, permitindo uma maior economia e controlo de qualidade nos seus elementos;
- Divisão dos elementos de forma a tornar possível e fácil o seu transporte para qualquer local, através do transporte por contentor marítimo;
- Processo de montagem simples, seguro e rápido, exequível para qualquer pessoa, evitando a necessidade de mão-de-obra qualificada para a sua edificação ou equipamento de movimentação de cargas;
- Construção feita em função das necessidades dos seus habitantes, permitindo uma fácil alteração das divisões em função das necessidades;
- Cumprimento das normas de segurança e qualidade dos edifícios de habitação convencionais;

- Racionalização de custos nos elementos e no sistema em geral, caso seja possível tornar o sistema numa opção habitacional *low-cost* (de baixo preço).

Após definidos estes objectivos, pretende-se determinar as necessidades dos tamanhos dos espaços a atribuir ao sistema, assim como as disposições regulamentares específicas.

3.2. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E FUNCIONAIS

O presente sistema deverá estar preparado para que o seu transporte seja feito dentro de contentores de transporte marítimo, como tal a dimensão dos seus elementos deverá estar limitado às dimensões destes contentores. Por norma os contentores habituais denominados de *ISO 20'*, possuem as seguintes dimensões internas: 5898 mm de comprimento, 2350 mm de largura e 2390 mm de altura.

Para além do transporte limitar as dimensões dos elementos, limita também o tipo de sistema modular a adoptar. Para tal, a forma mais eficaz de conseguir obter uma habitação com dimensões convencionais é dividir o sistema em elementos construtivos modulares mais pequenos, que posteriormente são ligados e montados entre si.

Pretende-se portanto uma solução composta por elementos pré-fabricados, que formem pórticos consecutivos resultando num esqueleto rígido responsável por suportar as cargas provenientes dos pisos, e que simultaneamente seja capaz de proporcionar vãos que proporcionem uma boa liberdade de implantação. Além da estrutura principal da habitação, o sistema será constituído por outros elementos secundários que irão perfazer a restante estrutura dos pisos, elementos de parede e de cobertura.

3.3. COMPONENTES DO SISTEMA:

3.3.1. Estrutura Principal:

A estrutura principal do sistema será composta por vigas e pilares que se ligarão de forma a constituir pórticos alinhados segundo duas direcções. Estes pórticos constituirão o esqueleto rígido que suportará a estrutura e que resistirá às solicitações externas.

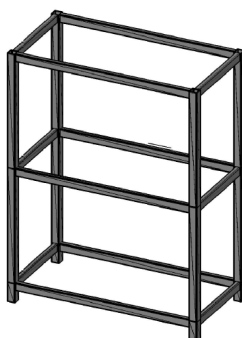


Figura 41. Protótipo da estrutura principal base do sistema

O esqueleto a definir deverá obedecer aos seguintes pressupostos:

- Permitir uma ligação rápida e facilmente executável com recurso a ferramentas comuns e de fácil manuseamento;
- Liberdade de escolha do número de módulos a ligar e respectiva orientação, de modo a permitir uma agilização dos espaços;

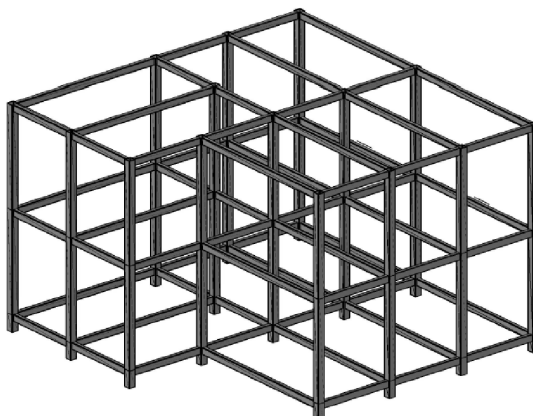


Figura 42. Exemplificação de uma estrutura principal modular construída com uma das configurações possíveis

- Elementos construtivos o mais leve possível, que facilitem o transporte e a montagem no local da obra.

Assim deverá ser garantida a segurança e a funcionalidade da habitação, sendo que a estrutura deverá ter o menor impacto possível na distribuição dos espaços da habitação. Esta opção por uma estrutura única, mas com a capacidade de se ligar de diferentes formas, implica também uma clara definição das suas características. Como tal, é necessário prever a sua influência no resultado final da habitação.

3.3.2. Estrutura de piso, fachada e cobertura:

A idealização feita para o sistema de piso, fachada e cobertura é de um sistema semelhante ao Light Steel Framing que complemente a estrutura principal. Ao contrário da estrutura principal, pretende-se que estes sistemas sejam uma estrutura com mais elementos mas de menor secção, que sirva de base e apoio aos revestimentos, isolamentos, caixilharia e redes de água, esgotos e electricidade.

3.4. DIMENSÕES DOS MÓDULOS ESTRUTURAIS A CONSIDERAR

Para definir o protótipo do sistema é necessário determinar as suas dimensões gerais, sendo útil definir a dimensão modular preferencial padrão do sistema. À semelhança de alguns sistemas modulares já apresentados no capítulo 2.3.2, a dimensão modular preferencial base do sistema será de 600 mm. O facto de se ter adoptado estas dimensões deve-se essencialmente aos seguintes factores:

- Dimensão já utilizada em diversos sistemas modulares existentes e na própria construção civil comum, havendo diversos elementos construtivos disponibilizados com base na dimensão base de 600 mm. Os elementos em questão vão desde o gesso cartonado, placas de madeira OSB, perfis de aço galvanizado e perfis de aço laminado;

- A dimensão base de 600 mm permite criar uma malha modular em que é possível inscrever compartimentos habitacionais com dimensões semelhantes às dimensões utilizadas usualmente. Desta forma pretende-se adequar as dimensões das diversas divisões às necessidades dos seus moradores.

Para idealizar as dimensões do sistema modular estrutural é também necessário observar alguns requisitos legais, estabelecidos pelo Regulamento geral das edificações urbanas (RGEU). Este documento apesar de antigo, e de se encontrar algo desactualizado com a construção actual, ainda é o documento que rege e estabelece as regras para as edificações urbanas.

3.4.1. Dimensões mínimas regulamentares a considerar

No capítulo referente a disposições interiores das edificações e espaços livres, no artigo 66º, são estabelecidas para edificações habitacionais as áreas mínimas que as diferentes divisões deverão respeitar, em função da tipologia da habitação em questão. Estas dimensões estão patentes na Tabela 1.

Tabela 1. Áreas mínimas dos compartimentos segundo o artigo 66º do RGEU

	Número de compartimentos e tipo de fogo							
	2	2	3	5	6	7	8	Mais de 8
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T _y > 6
	Áreas em metros quadrados							
Quarto casal	-	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Quarto duplo	-	-	9	9	9	9	9	Restantes
Quarto duplo	-	-	-	9	9	9	9	Quartos
Quarto duplo	-	-	-	-	-	9	9	9 m ²
Quarto simples	-	-	-	-	6,5	6,5	6,5	6,5
Quarto simples	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5
Sala	10	10	12	12	12	16	16	16
Cozinha	6	6	6	6	6	6	6	6
Suplemento de área obrigatório	6	4	6	8	8	8	10	(nº quartos + 4) m ²

No mesmo capítulo no artigo 65º, o RGEU estabelece ainda que a altura mínima piso a piso em edificações deverá ser de 2.70 m, e que o pé-direito

livre mínimo não pode ser inferior a 2.40 m. O suplemento de área obrigatório referido na Tabela 1 refere-se a uma parcela destinada em parte ao tratamento de roupa, e deverá distribuir-se pela cozinha e sala. Apenas se o tratamento de roupa for efectuado num espaço delimitado para o efeito, a área suplementar a manter desce para os 2 m². O artigo 68º estabelece ainda que para as tipologias T₁, T₂, e T₃ a área mínima para instalações sanitárias é de 3,5 m², nas tipologias T₄ e T₅ a área mínima é 4,5 m² e deverá subdividir-se em dois espaços com acesso independente. No caso de tipologias superiores, a área mínima fixa-se nos 6 m² também subdividida em 2 espaços independentes. Segundo o artigo 69º do RGEU, as dimensões mínimas a verificar nos compartimentos devem respeitar as seguintes regras:

- Se a área for menor que 9,50 m², a dimensão mínima será 2,10 m;
- Se a área for maior ou igual que 9,5 m² e menor que 12 m², deverá ser possível inscrever nesta, um círculo de diâmetro não inferior a 2,40 m;
- Se a área for maior que 12 m² e menor que 15 m², deverá ser possível inscrever nesta um círculo de diâmetro não inferior a 2,70 m;
- Se a área for igual ou superior a 15 m² o comprimento do compartimento não poderá exceder o dobro da largura, excepto se for possível inscrever um círculo de diâmetro não inferior a 2,70 m.

Como tal, e assumindo uma malha modular base de 600 por 600 mm, decidiu-se adoptar uma malha modular estrutural de 4 por 8 módulos, ou seja 2,40 m por 4,8 m. Daqui resulta um módulo de área 11,52 m². A escolha destas dimensões assenta em diversos pontos:

- O comprimento de 4,8 m permite que se realizem divisões de maior área, através do agrupamento de vários módulos, tornando-se a menor dimensão em planta, justamente 4,8 m.
- Estas dimensões permitem também respeitar o artigo 68º do RGEU já referenciado nomeadamente:

- O paragrafo b, que obriga a que as áreas superiores a $9,5 \text{ m}^2$ e menores que 12 m^2 possibilitem a inscrição de um círculo de diâmetro não inferior a 2,40 m. Como tal, se considerarmos um módulo isolado com uma área de $11,54 \text{ m}^2$, a dimensão mínima é de 2,40 m e o seu comprimento 4,8 m, pelo que a inscrição de um círculo nestas condições é possível;
- Em áreas superiores a 15 m^2 o comprimento não poderá exceder o dobro da largura, a não ser que seja possível inscrever um círculo de diâmetro não inferior a 2,70 m. A condição inicial deste parágrafo depende essencialmente da distribuição escolhida pelo utilizador para o espaço em questão, mas tendo em conta que uma área superior a 15 m^2 representa a utilização de pelo menos 2 módulos, e que para desrespeitar a norma teriam de ser dispostos longitudinalmente de forma muito pouco racional, perfazendo as dimensões de 9,6 m por 2,4 m. Desta forma, considera-se que esta distribuição não será seguida devido à sua pouca utilidade. Considera-se ainda, que para a execução de áreas superiores a 15 m^2 a distribuição modular mais apropriada será o alinhamento de pelo menos 2 módulos transversalmente, formando as dimensões de 4,8 m por 4,8 m.

-

4. ESTRUTURA PRINCIPAL

Neste capítulo pretende-se definir e dimensionar a solução construtiva a adoptar para a estrutura do sistema, respeitando os pressupostos anteriormente apresentados. Como tal, ao longo deste capítulo os trabalhos efectuados foram:

- Definição das características da estrutura como os materiais e dimensões a considerar;
- Estudo da influência da disposição dos módulos nos esforços aplicados na estrutura e determinação da disposição de módulos mais condicionantes;
- Elaboração de solução estrutural alternativa com base na geometria definida anteriormente;
- Construção à escala real de uma treliça de piso, com contabilização do tempo e custos inerentes à realização da nova solução;
- Análise económica das diferentes soluções possíveis e definição final da estrutura;
- Modelação, dimensionamento e pormenorização da restante estrutura, nomeadamente dos pilares e respectivas ligações.

4.1. CARACTERÍSTICAS

Tendo em conta as dimensões consideradas, é necessário definir qual o material a utilizar. Por norma esta escolha é realizada pelo dono de obra ou definida pela equipa de projecto, em função das características da estrutura a dimensionar. No presente caso os factores a ter em conta nesta escolha deverão ser:

- Transporte;

- Facilidade e rapidez de montagem;
- Realização de ligações;
- Durabilidade;
- Sustentabilidade;
- Custo final.

Por norma os sistemas construtivos modulares mais convencionais são construídos com estruturas em aço ou madeira. Tendo em conta estes pressupostos, considerou-se que a melhor opção para o presente sistema seria através de estrutura metálica realizada com ligações aparafusadas. Este tipo de estrutura apresenta diversas vantagens:

- Produção dos diversos elementos estruturais em série, em ambiente fechado e de qualidade controlada;
- Preparação de contentores de transporte com todo o kit de montagem necessário à construção das habitações;
- Transporte até ao local de obra e montagem com recurso a ligações simples aparafusadas, que não necessitam nenhum tipo de ferramenta ou formação especial;
- Excelente relação peso/resistência, resultando em elementos mais leves mas de grande resistência que facilitam a montagem no local.

Para permitir a liberdade de implantação e de personalização de cada habitação, prevê-se que se evite a utilização de elementos de contraventamento ou de paredes resistentes. Assim para garantir a estabilidade estrutural do sistema, o desenvolvimento em altura deverá ser limitado, de forma a não se tornar instável às solicitações horizontais.

O desenvolvimento em altura da estrutura principal deverá ser limitado a dois pisos (rês do chão e primeiro andar), mais a cobertura. Esta opção prende-se com o facto de diversos sistemas modulares apenas permitirem um piso

(térreo). Esta opção pretende tornar possível um melhor aproveitamento do terreno de implantação. Em resumo, a configuração ideal será uma estrutura metálica porticada tridimensional de 3 pisos, com vão maior de 4,8 metros e menor de 2,4 metros, e com uma altura entre pisos de 3,0 metros conforme definido no capítulo 3.

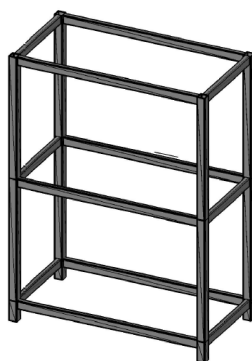


Figura 43. Exemplo de módulo estrutural

4.2. ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DOS MÓDULOS

Para dimensionar os elementos estruturais do sistema, é necessário compreender o comportamento e a influência da estrutura em função da disposição espacial dos módulos estruturais. Desta forma o objectivo deste subcapítulo é partir das dimensões idealizadas da estrutura, definir as acções estáticas e dinâmicas correspondentes à localização pretendida e, em função da disposição dos módulos perceber qual a disposição mais condicionante.

Para tal realizaram-se 194 modelos estruturais distintos referentes a diferentes disposições dos módulos. O objectivo foi tentar perceber qual a disposição estrutural mais condicionante para os elementos estruturais.

Para realizar esta análise, seguiu-se um procedimento que salvaguarda a segurança da estrutura e que ao mesmo tempo não sobredimensiona os elementos estruturais em demasia. Utilizando um programa de elementos finitos, modelaram-se as disposições mais prováveis de se verificarem na realidade e de seguida compararam-se os resultados obtidos. O procedimento seguido para a análise das disposições modulares mais desfavoráveis foi o seguinte:

1. Modelação da estrutura e obtenção de esforços;
2. Verificação da segurança dos diversos elementos segundo o eurocódigo 3;
3. Exportação dos valores dos esforços e dos rácios de solicitação de cada elemento;
4. Comparação de valores e escolha dos modelo a utilizar no dimensionamento dos elementos estruturais.

A configuração estrutural de cada módulo adoptada foi a definida no ponto anterior. Para simplificação dos modelos, as ligações da estrutura (viga/pilar e pilar/pilar), foram consideradas como rígidas e portanto contínuas, não sendo alvo de nenhum tipo de análise de comportamento semi-rígido, pois o presente estudo apenas pretende ser indicativo e comparativo das disposições mais desfavoráveis.

Dado que o estudo da disposição dos módulos foi feito para um elevado número de disposições, foi necessário criar uma nomenclatura para descrever a disposição dos módulos através de associações de letras.

4.2.1. Nomenclatura da disposição dos módulos estruturais

O sistema adoptado pretende tornar o trabalho realizado mais perceptível e organizado. Assim sendo, e de acordo com a figura seguinte, ilustra-se a nomenclatura adoptada em função da disposição dos módulos:

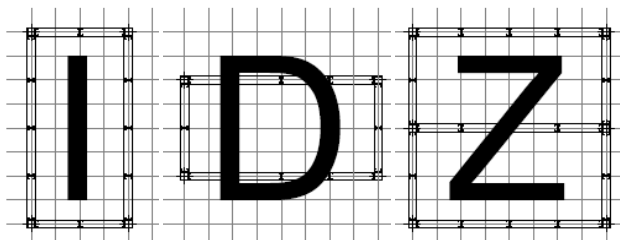


Figura 44. Sistema de nomenclatura da disposição dos módulos

Desta forma o procedimento para referir as diferentes disposições é:

- Admitir que os módulos apenas se desenvolvem nas duas dimensões em planta, direcção longitudinal e transversal;
- Quando se pretende referir à distribuição dos módulos numa direcção utilizam-se números e letras: os números indicam o número de módulos consecutivamente dispostos na mesma direcção com a mesma letra de referência, por sua vez, quando se pretende referir a módulos dispostos em diferentes disposições utilizam-se as letras correspondentes.

Exemplo 4IZ:

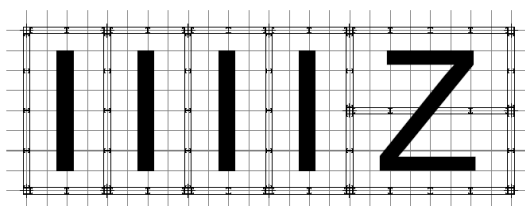


Figura 45. Exemplo de aplicação do sistema de nomenclatura, disposição 4Iz

- Quando se pretende referir ao desenvolvimento dos módulos na direcção contrária à anteriormente descrita, utiliza-se o número de vezes que a disposição se repete na dada direcção antes dos números e letras que indicam a geometria em questão. Exemplo 2[4IZ]:

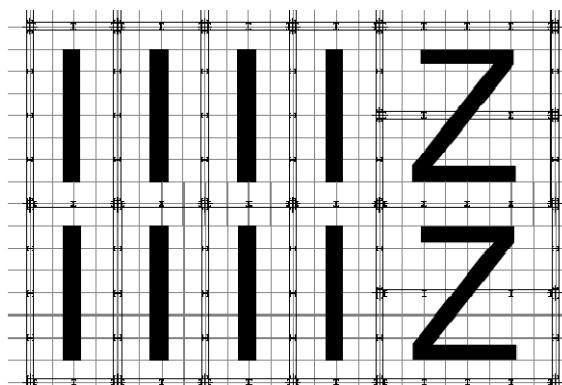


Figura 46. Exemplo de aplicação do sistema de nomenclatura, disposição 2[4IZ]

O procedimento adoptado baseou-se no estudo dos módulos com diferentes alinhamentos:

1. Estudo dos módulos segundo um alinhamento na mesma direcção: disposições do tipo I + I, conforme a Figura 47:

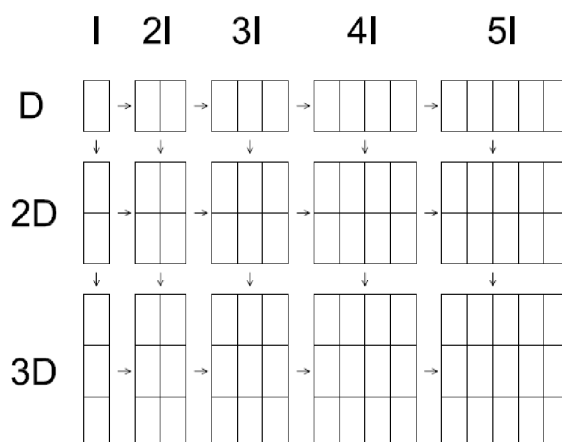


Figura 47. Nomenclatura tipo da disposição I+I

2. Alinhamento dos módulos em direcções ortogonais: disposições do tipo I+Z. Neste estudo dispuseram-se os módulos segundo direcções perpendiculares entre si. Para além de se variar o tipo de geometria, variou-se também o desenvolvimento da geometria numa direcção, conforme a Figura 48. O desenvolvimento na direcção transversal é indicado pelo número de módulos nessa direcção, com a letra D:

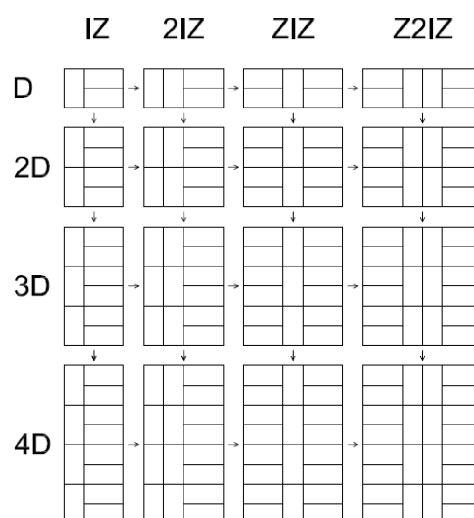


Figura 48. Nomenclatura tipo da disposição I+Z

3. Módulos dispostos de forma a gerar geometrias mais complexas em forma de "L": Neste estudo dispuseram-se os módulos alinhados

segundo uma direcção e de seguida adicionaram-se módulos numa extremidade, no mesmo alinhamento dos módulos iniciais. O estudo foi feito para diferentes geometrias, assim como os módulos adicionados variaram no número e no seu desenvolvimento transversal e longitudinal. Para auxiliar a denominação dos módulos, a nomenclatura destes foi dada em função da geometria inicial e do número de módulos adicionados. Exemplo disso é a geometria da disposição da terceira linha e terceira coluna da Figura 49.: “3[2I]+[3I]”, em que o número inicial “3” indica que o módulo tem um desenvolvimento de 3 módulos na direcção longitudinal, o “[2I]” indica que é composto por 2 módulos na direcção transversal e “[3I]” indica que os módulos acrescentados têm um desenvolvimento de 1 módulo na direcção longitudinal e 3 na direcção transversal.

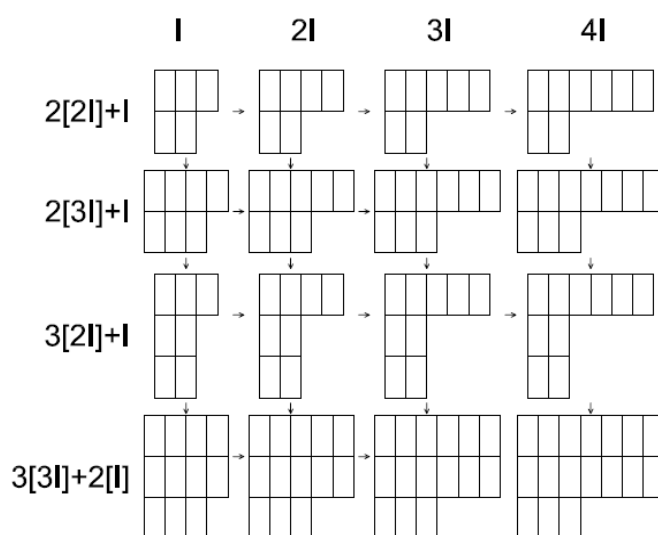


Figura 49. Nomenclatura tipo da disposição em “L”

4.2.2. Procedimento adoptado e parâmetros de comparação

Tendo em conta que todas as estruturas modeladas apresentam as mesmas secções nos mesmos elementos, a forma mais fácil de comparar diversos modelos será através dos rácios de solicitação dos seus elementos. Entenda-se por rácio de solicitação a razão entre os esforços actuantes e a capacidade resistente da secção ou do elemento em análise. Estes rácios serão estudados de forma independente para os pilares, vigas longitudinais e vigas transversais.

No presente caso, a rotura das vigas ocorre essencialmente devido à presença de momento flector aliado a fenómenos de instabilidade lateral. Para além disso, a presença de esforços normais devido a solicitações horizontais como o vento ou a acção sísmica, contribui para uma interacção de esforços que poderá precipitar a rotura ou a instabilidade destes elementos. Nos pilares a rotura também resulta de uma interacção de esforços e por fenómenos de instabilidade.

Como tal, para uma correcta contabilização destes fenómenos, o eurocódigo 3 estabelece no capítulo 6.33 as expressões 6.1 e 6.2 que contabilizam a interacção entre o esforço axial e a flexão assim como contabiliza os fenómenos de encurvadura;

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (2)$$

As presentes expressões apresentam a desvantagem da morosidade do cálculo dos coeficientes de interacção k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} . Tendo em conta que o cálculo destes coeficientes é realizado de forma automática pelo programa de modelação e dimensionamento, esta desvantagem é eliminada. Será em função do resultado desta expressão que a comparação das solicitações será realizada, possibilitando a contabilização de todos estes fenómenos.

4.2.3. Modelação

As estruturas foram modeladas e dimensionadas num programa de elementos finitos SAP 2000 versão 14. Dado que pretendemos modelar um grande número de estruturas para posterior comparação, estabeleceu-se um conjunto de condições para o dimensionamento de todas as estruturas. Para a modelação dos módulos, elaborou-se uma análise estática e dinâmica considerando efeitos de segunda ordem. Todas as disposições foram obtidas a partir do módulo estrutural base, conforme descrito na imagem Figura 50.

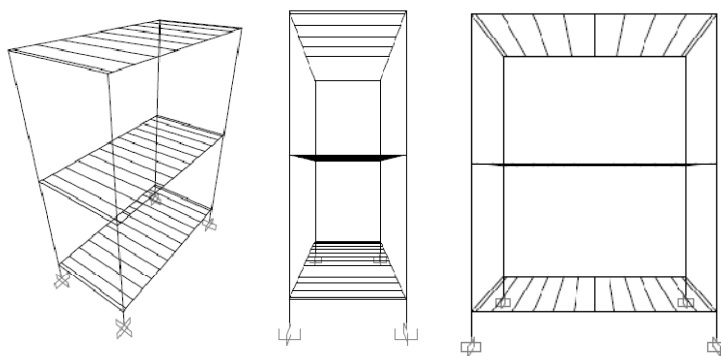


Figura 50. Exemplificação da estrutura adoptado na modelação em SAP2000

Este módulo base é composto por vigas longitudinais e transversais realizadas por perfis rectangulares ocos RHS (Rectangular Hollow Sections) 200x100x7.1, os pilares por perfis RHS 220x220x7.1 e as vigas de piso por perfis enformados a frio C90x43x15x1.5. Os pilares foram considerados como encastrados na base e as vigas de piso “C” articulados nas extremidades. O aço utilizado foi da classe S275 de acordo com a EN-10025.

Para a determinação das acções seguiram-se as disposições estabelecidas no Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes (R.S.A.) conforme descrito no Anexo I. A análise efectuada teve em conta os efeitos geométricos de segunda ordem para as acções estáticas e dinâmicas.

Conforme a imagem Figura 51, as cargas descendentes provenientes dos pisos foram aplicadas como cargas distribuídas nas vigas de piso. As cargas horizontais provenientes da acção do vento foram aplicadas como cargas distribuídas nas vigas longitudinais e transversais.

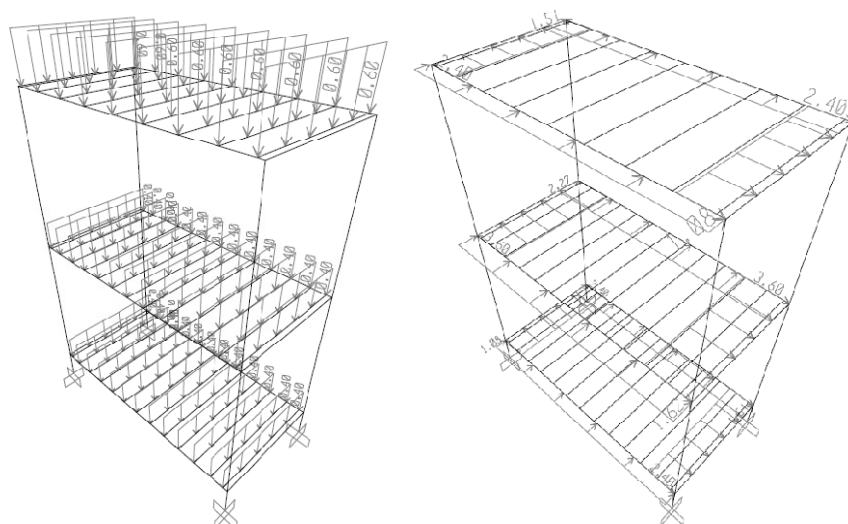


Figura 51. Aplicação das cargas horizontais e verticais no SAP2000

4.2.4. Dimensionamento:

O dimensionamento dos elementos foi realizado com a ferramenta de dimensionamento automática do SAP2000. A ferramenta em questão divide os elementos de barra por troços, as extremidades destes troços funcionam como pontos de controlo do elemento em questão. Para cada combinação o programa calcula os esforços aplicados nas barras, e para cada ponto de controlo dessas barras determina o rácio entre os esforços aplicados e a capacidade resistente da secção, determinada segundo o disposto no eurocódigo 3.

O programa consegue distinguir ainda se está perante um elemento viga ou coluna/pilar e, desta forma, analisa de forma distinta o elemento em questão. Os estados limites últimos analisados pelo SAP2000 segundo o eurocódigo 3 1-1 são os seguintes DIAS (2007):

- Resistência das secções a tensões directas (devidas a esforços axial, transversal e momento flector);
- Resistência das barras à encurvadura por flexão;
- Resistência das barras à encurvadura lateral-torsional, bambeamento;

- Resistência das barras por encurvadura por esforço transversal;
- Resistência das secções à interacção de esforços;
- Resistência das barras à interacção de esforços.

Os cálculos são executados tendo em conta o tipo de classe da secção. O programa classifica automaticamente a secção, e o dimensionamento está restringido às secções de classe 1, 2 ou 3, pelo que o dimensionamento de secções de classe 4 fruto da sua complexidade não é considerado. Foram calculadas todas as combinações possíveis e verosímeis a que o R.S.A. obriga, tendo em conta as acções consideradas.

Dado que os processos de modelação e dimensionamento resultaram num elevado número de modelos, realizou-se um processo de aquisição e tratamento de dados através de um processo automático. Utilizou-se o programa MATLAB para elaborar uma rotina que automaticamente abre os ficheiros Excel exportados do SAP2000 das diversas disposições estudadas que retira os valores máximos do grau de solicitação para cada elemento e preenche uma tabela resumo com os valores obtidos organizados por nome do modelo e elemento analisado e no final exporta a tabela em folha de cálculo Excel.

4.2.5. Resultados obtidos

As tabelas obtidas durante o estudo das disposições estão disponíveis para consulta no Anexo II. Assim sendo, e por simplificação, a apresentação dos resultados será através de gráficos que resumem a informação obtida.

4.2.5.1. Disposição I+I:

A primeira disposição a analisar é a disposição dos módulos seguindo um alinhamento simples, do tipo I+I. Os resultados obtidos estão representados nos gráficos seguintes:

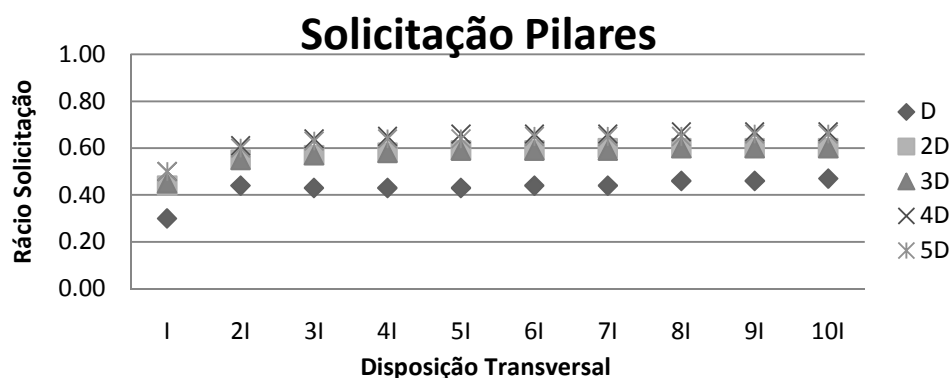


Figura 52. Gráfico solicitação de pilares na disposição I+I

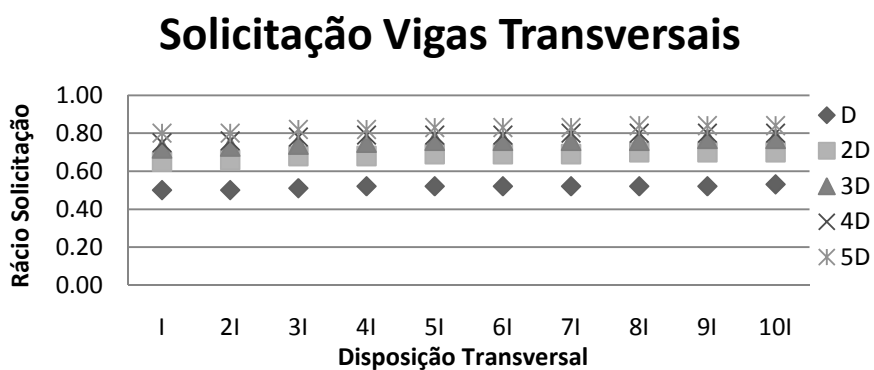


Figura 53. Gráfico solicitação das vigas transversais na disposição I+I

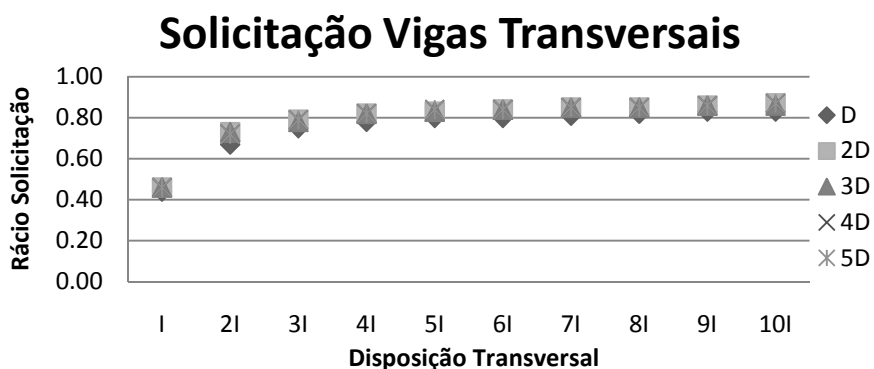


Figura 54. Gráfico solicitação das vigas longitudinais na disposição I+I

Da análise dos gráficos apresentados e das tabelas resumo apresentadas no Anexo II conclui-se o seguinte:

- Verifica-se que a acção sísmica, nomeadamente a acção H1 e H2 que corresponde a uma acção sísmica do tipo I, com solo do tipo I actuando na direcção X e Y respectivamente, é para todas as disposições e nos diversos elementos a acção mais condicionante. A direcção mais condicionante do sismo varia com a disposição dos módulos;
- A rotura dos pilares ocorre devido à presença de esforço axial em conjunto com momentos flectores em ambas as direcções, sendo que a contribuição do momento flector na equação 1 e 2 é bastante superior à contribuição do esforço axial. Verifica-se também que a solicitação aplicada nos pilares varia com o número de módulos ligados na direcção longitudinal e transversal, tendendo para um valor limite;
- Nas vigas, verifica-se que as vigas longitudinais (vigas de maior vão) são as mais solicitadas, devido ao vão de 4,8 metros, o dobro do vão das vigas transversais. Apesar disso, em algumas disposições a solicitação das vigas transversais é superior à solicitação das vigas longitudinais. Tal facto deve-se à geometria da estrutura e às implicações que este factor tem na variação da rigidez da estrutura em cada direcção. Este efeito verifica-se em disposições com diversos módulos alinhados longitudinalmente, mas com poucos módulos na direcção transversal. Nestes casos as vigas transversais são mais solicitadas do que as longitudinais pela acção sísmica, fruto da menor rigidez da estrutura na direcção menor para responder às solicitações horizontais causadas pela acção sísmica;
- Apesar deste efeito nas vigas transversais, as vigas longitudinais são as mais solicitadas, devido ao seu maior vão. Verifica-se que os valores aumentam com o número de módulos alinhados longitudinalmente, cujos valores tendem a estabilizar e a manter-se abaixo do rácio de 0,90.

4.2.5.2. Disposição I+Z:

A segunda disposição a analisar é a disposição dos módulos seguindo um alinhamento misto, do tipo I+Z. Os resultados obtidos estão visíveis nos gráficos seguintes:

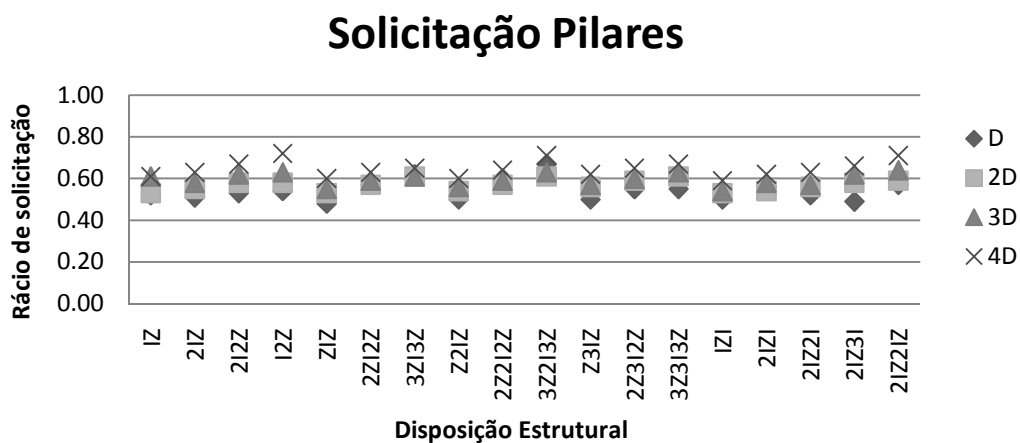


Figura 55. Gráfico solicitação de pilares na disposição I+Z

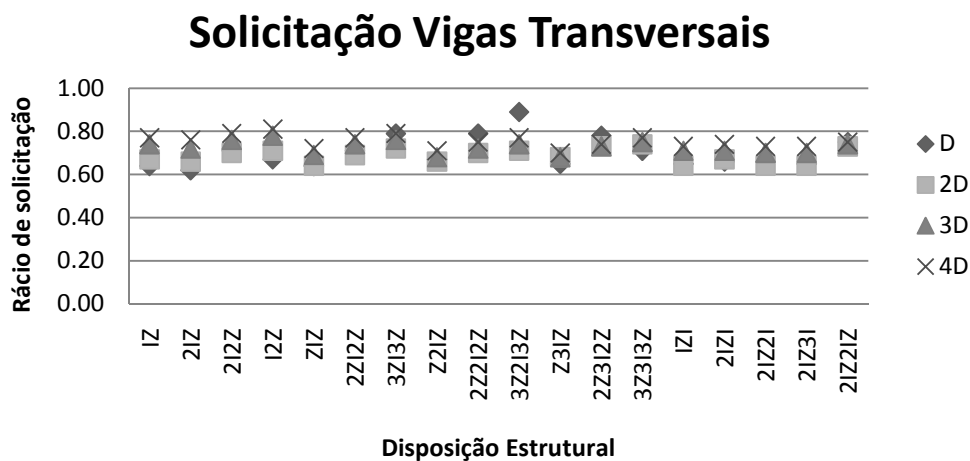


Figura 56. Gráfico solicitação de vigas transversais na disposição I+Z

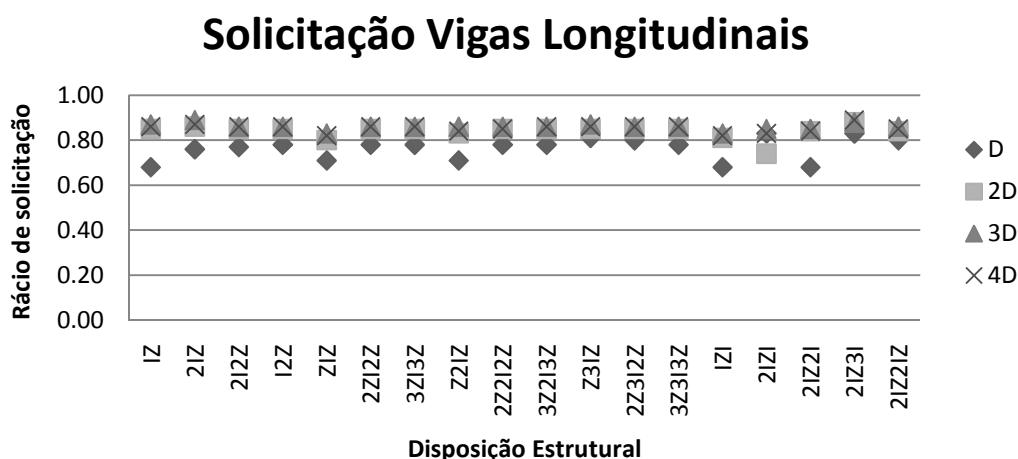


Figura 57. Gráfico solicitação de vigas longitudinais na disposição I+Z

Da análise dos resultados conclui-se o seguinte:

- Relativamente à disposição anterior (I+I), a solicitação verificada nos pilares é superior. Mais uma vez a combinação condicionante é a acção sísmica com sismo e tipo de solo I. A maior solicitação verifica-se nos pilares interiores, conforme ilustrado na imagem seguinte:

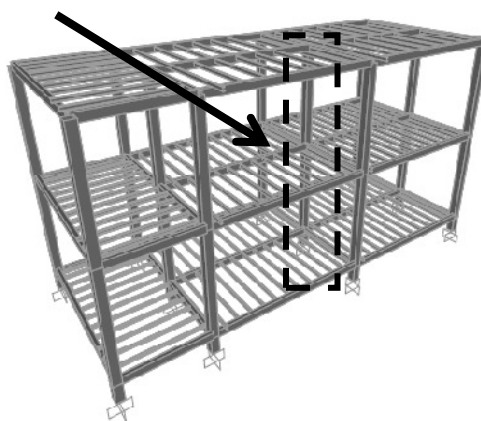


Figura 58. Alçado, planta e perspectiva da disposição I2D

O aumento de esforços no pilar assinalado deve-se à acção sísmica na direcção YY que provoca na estrutura uma maior solicitação dos pilares nesta direcção. Se na presente disposição dividirmos os pórticos, segundo a direcção XX, verifica-se que há pórticos com 3 e 4 elementos, conforme a figura seguinte:

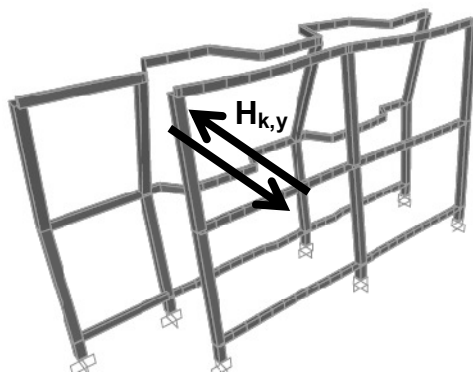


Figura 59. Esquema dos pórticos resistentes à acção sísmica na direcção yy

Assim sendo, a acção sísmica que actua na direcção horizontal, perpendicularmente aos pórticos, solicita estes perpendicularmente ao seu plano, conforme Figura 59 . Como o pórtico interior é composto por menos elementos, cada elemento é mais solicitado. Assim sendo, o pilar interior do pórtico que suporta a maior parte do esforço axial torna-se no pilar mais esforçado. Verifica-se então que disposições modulares em que se verifiquem este tipo de configuração, são mais solicitados do que se a sua disposição adoptada fosse do tipo I+I;

- Quanto às vigas também nesta disposição se verificam valores de solicitação superiores aos verificados nas disposições anterior (I+I). Apesar de não ser um aumento significativo, cerca de 2%. Tal verifica-se como no ponto anterior nos pórticos compostos por menos elementos.

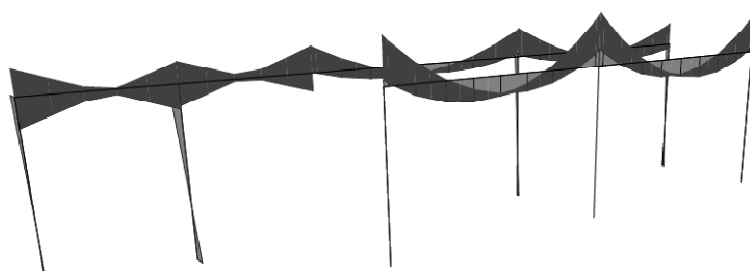


Figura 60. Diagrama de momentos flectores na disposição H2Z

Esta situação deve-se aos momentos flectores negativos, que ocorrem junto da zona dos pilares. Nos pórticos com mais elementos, existe uma partilha do momento flector negativo com a viga transversal

imediatamente a seguir, não se verificando este efeito nos pórticos com menos elementos. Nestes pórticos o diagrama de esforços indica-nos que o momento flector negativo é absorvido e conduzido até às fundações pelos pilares.

4.2.5.3. Disposição em “L”:

O objectivo do estudo das disposições em “L” pretendia perceber a influência da adopção de uma arquitectura distinta das anteriores que não fosse uma arquitectura simétrica e rectangular. Acontece que considerando outras disposições permitidas pelo presente modelo, teríamos um número infindável de disposições possíveis. Desta forma, o estudo destas disposições seria impraticável, além de que nem todas as disposições, apesar de possíveis, são verosímeis, dado que estas podem não se adaptar às necessidades dos seus moradores.

Assim sendo, o presente estudo teve que se limitar a um conjunto de disposições restritas. Desta forma, tendo em conta que os resultados apresentados nas disposições anteriores revelam que a acção sísmica se apresenta como a acção mais desfavorável, é importante perceber os factores que influenciam a resposta da estrutura ao sismo e definir quais as disposições que interessam estudar.

Segundo GUERREIRO (2011), as regras para um bom comportamento estrutural anti-sísmico quanto à forma de uma estrutura dependem de diversos factores:

- Ligação entre os elementos da estrutura;
- Simetria;
- Uniformidade em altura;
- Uniformidade em planta;
- Regularidade na distribuição da massa;

- Redundância.

Desta forma existem um conjunto de “regras” que aplicadas na configuração estrutural dos edifícios permitem obter um melhor comportamento ao sismo.

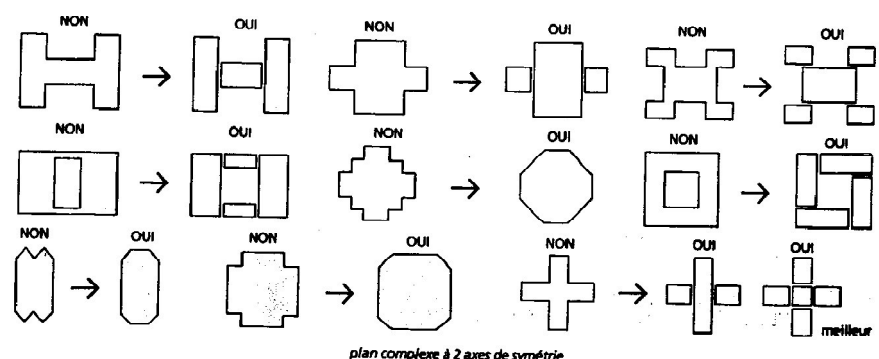


Figura 61. Configurações arquitectónicas não favoráveis e respectivas propostas de melhoria segundo GUERREIRO (2011)

As presentes regras pretendem evitar problemas que levam a um mau comportamento ao sismo. Uma má configuração da estrutura em planta ou uma má distribuição de massa, poderá levar a problemas na resposta da estrutura, como seja o aparecimento de fenómenos de torção.

Este tipo de comportamento verifica-se quando a concepção arquitectónica e estrutural dos edifícios não permite minimizar o afastamento entre o centro de massa e o centro de rigidez da estrutura. Quanto mais afastado ficar o centro de rigidez do centro de massa, mais os efeitos de torção global na estrutura se farão sentir, resultando em secções de maiores dimensões, diminuindo a economia do sistema. Desta forma, interessa encontrar um intervalo entre as geometrias possíveis de conceber com o sistema e o custo associado para a sua construção.

Assim sendo, e tendo em conta a Figura 61, admite-se que as configurações estruturais mais complexas serão simplificadas através da sua divisão em pequenas estruturas mais simples. Esta simplificação pode ser facilmente exequível com o presente sistema, apenas bastando separar a estrutura de um conjunto de módulos de outro imediatamente a seguir.

Esta separação seria efectuada através de um conjunto de módulos estruturais, desligados da estrutura original. Mas esta medida tem implicação no custo final da estrutura, dado que nas zonas de interface entre os diferentes conjuntos estruturais a duplicação dos elementos verticais implica a utilização de um número maior de elementos. Assim sendo, apenas faz sentido fazer esta separação estrutural nos casos em que tal se justifica. Seria assim útil prever casos pontuais em que fosse possível ligar módulos estruturais à estrutura existente, sem necessidade de tornar os módulos totalmente independentes. Para prever esta situação, modelou-se uma estrutura não simétrica com diferentes módulos acrescentados numa das extremidades da estrutura. A disposição em planta escolhida, será uma disposição em “L”.

As disposições estudadas variaram quer no número de módulos acrescentados quer no número de módulos na estrutura principal. Os resultados obtidos também estão disponíveis na forma de tabela no Anexo II. Novamente apresentam-se os resultados obtidos na forma de gráficos:

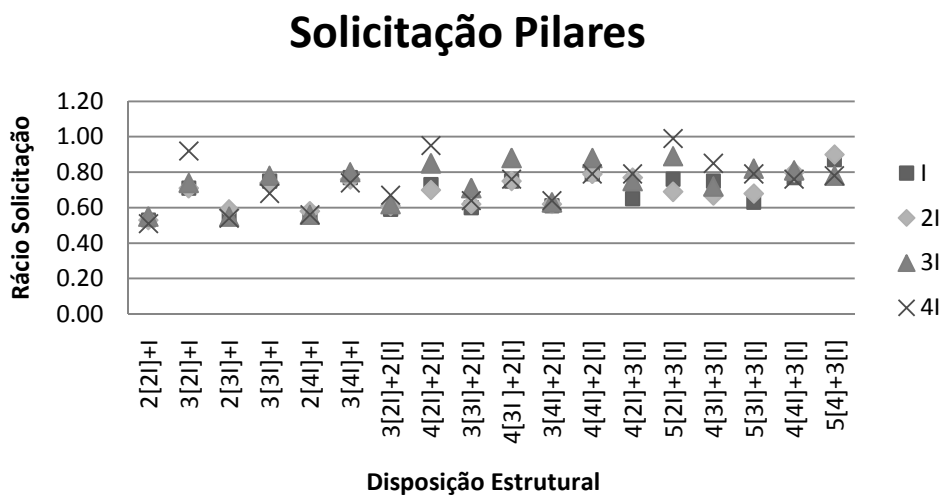


Figura 62. Gráfico solicitação de pilares na disposição tipo “L”

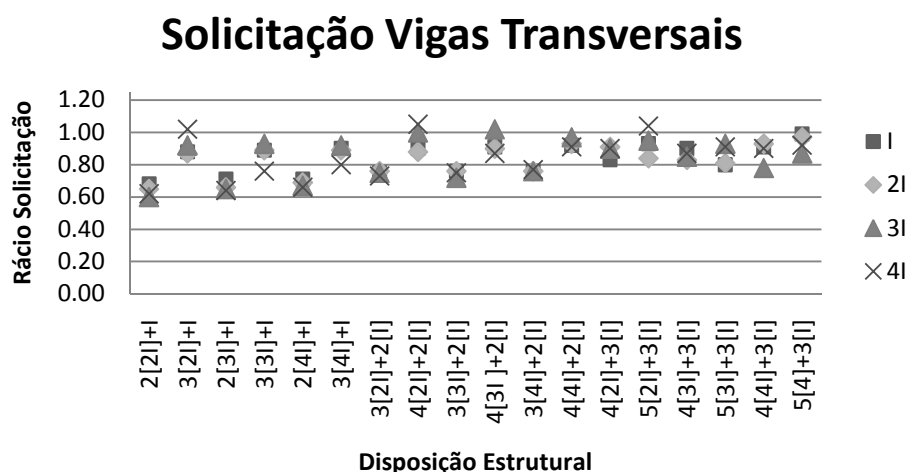


Figura 63. Gráfico solicitação de vigas transversais na disposição tipo “L”

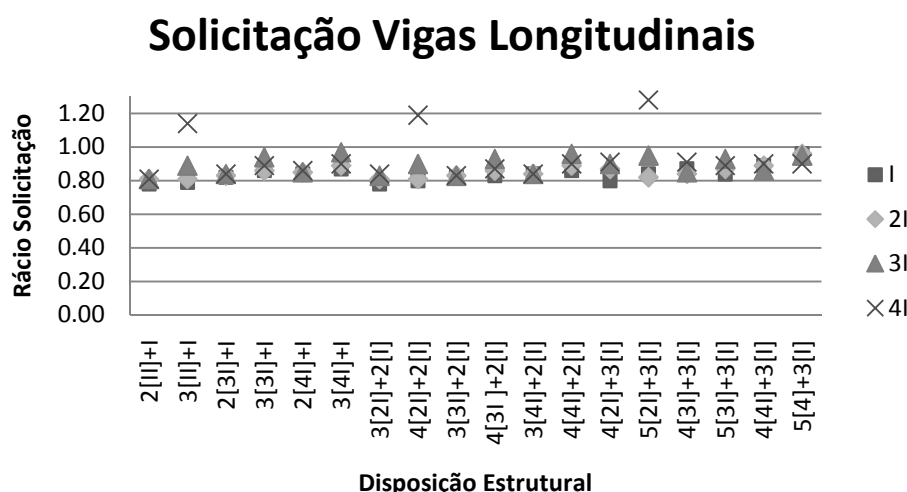


Figura 64. Gráfico solicitação de vigas longitudinais na disposição tipo “L”

- Das disposições analisadas nota-se que ao contrário das disposições 1+1, os resultados referentes aos diferentes elementos não seguem uma tendência clara. A solicitação dos diferentes elementos depende além da configuração da estrutura principal, da configuração do número de módulos que vão sendo acrescentados;
- Em algumas disposições verificam-se solicitações superiores às verificadas na larga maioria das disposições restantes: 3[2I]+[4I], 4[2I]+2[4I] e 5[2I]+3[4I]. Este aumento é mais preponderante nas vigas longitudinais, sendo seguido também pelas vigas transversais e com

menor ênfase pelos pilares. Este facto deve-se a um excessivo número de módulos adicionados (4 módulos) lateralmente, o que introduz alterações na distribuição da rigidez na estrutura, aumentando a torção global gerada na estrutura.

4.2.6. Considerações finais

Das várias disposições e variações apresentadas destaca-se a disposição em “L” como sendo a disposição em que se verificaram as maiores solicitações nos elementos estruturais.

Tabela 2. Solicitações máximas em cada disposição por elemento estrutural

<i>Elemento</i>	<i>Disposição I+I</i>	<i>Disposição I+D</i>	<i>Disposição em “L”</i>
Pilares	0,67	0,72	0,99
Vigas Transversais	0,84	0,89	1,05
Vigas Longitudinais	0,87	0,89	1,28

Conforme já foi referido, este foi o resultado esperado, uma vez que nas disposições previamente analisadas a combinação preponderante foi a combinação com acção base sismo, pelo que eventuais alterações na geometria da estrutura que aumentassem a distância entre o centro e massa e o centro de rigidez trariam problemas de torção global na estrutura, aumentando os esforços nos elementos estruturais, levando a um dimensionamento menos económico.

Ora sendo o objectivo desta modelação estrutural e comparação de resultados, de forma a obter um modelo que sirva para dimensionar os diversos elementos, é de referir que algumas disposições e respectivas variações analisadas são pouco prováveis de virem a ser construídas. Dado que as dimensões praticadas não se coadunam com as dimensões usualmente necessárias e utilizadas nas habitações comuns. Esta questão é mais preponderante quando os modelos estruturais em que os esforços foram mais elevados, foram na realidade modelos cuja geometria não era de todo realística.

Atendendo a este facto, para a escolha de um modelo base, apenas se consideraram as geometrias passíveis de serem adoptadas na edificação de uma moradia. Assim sendo a disposição escolhida foi a disposição 5[4I]+3[2I], conforme Figura 65, que apesar de ser uma disposição algo extensa apresenta valores de solicitação nos elementos ligeiramente acima da maioria das solicitações analisadas.

Tabela 3. Solicitações máximas verificadas na disposição 5[4I]+2[3I]:

<i>Elemento</i>	<i>Disposição 5[4I]+3[2I]</i>
Pilares	0.90
Vigas Transversais	0.97
Vigas Longitudinais	0.96

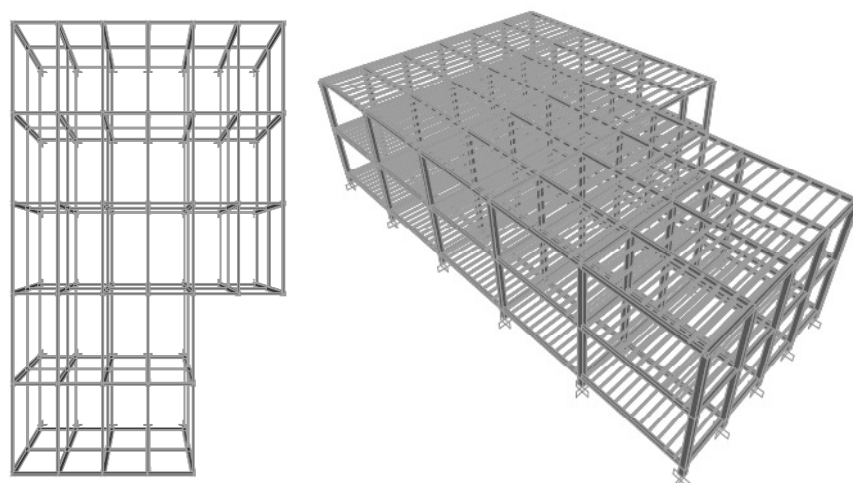


Figura 65. Vista superior e perspectiva da disposição estrutural 5[4I]+3[2I]

4.3. ANÁLISE DAS DIVERSAS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS POSSÍVEIS

Após o estudo do comportamento estrutural dos módulos, uma das questões levantadas advém da utilização de pórticos metálicos em perfis tubulares. A utilização de perfis tubulares apresenta desvantagens aquando da realização de alguns tipos de ligações aparafusadas, nomeadamente nas ligações viga-pilar em que a largura do pilar não é suficientemente grande para acomodar a ligação aparafusada da viga. Este problema torna-se mais perceptível quando se utilizam chapas de testa ou cantoneiras de ligação a fim de garantir a rigidez total da ligação. Devido à sua geometria e ao facto de não haver acesso ao

interior do perfil, a localização dos parafusos que realizam a transferência de esforços é feita na extremidade da placa, na zona exterior ao perfil tubular a ligar, o que dificulta ainda mais a ligação.

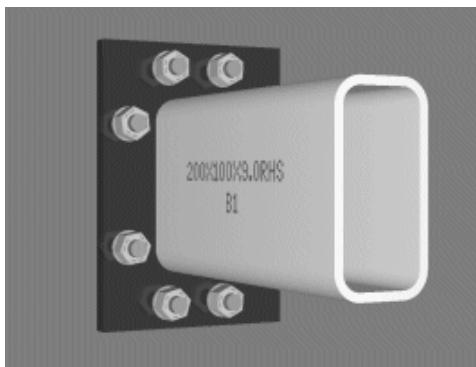


Figura 66. Exemplificação da extremidade de uma viga rectangular oca com placa de testa e ligação aparafusada STEEL-CONNECTIONS.COM (2011)

Para a resolução desta questão diversas alterações poderiam ser tomadas:

- Ligações aparafusadas realizadas a partir da zona interior do pilar, através de porcas soldadas na chapa de testas no interior da viga ou através de *blind bolts*;
- Adopção de perfis laminados abertos como “I” ou “H”;
- Reformulação do tipo de ligação a realizar e do tipo de secção ou elemento viga a utilizar.

A realização da ligação aparafusada a partir do interior do perfil tubular apresenta desvantagens na própria concepção do sistema, nomeadamente na adição de módulos a uma estrutura já existente, dado que para se proceder à ligação de mais uma viga nos pisos inferiores seria necessário ter acesso ao interior do pilar, obrigando à desmontagem dos pilares superiores, para além de que a realização de uma manobra desse tipo dentro de um espaço confinado iria trazer grandes dificuldades ao seu executante.

Por outro lado, a adopção de um perfil aberto do tipo “I” ou “H” seria uma solução menos económica. Devido à configuração da sua secção, a resistência à flexão segundo o eixo de menor inércia é menor, sendo assim mais

susceptível de ocorrer fenómenos de encurvadura lateral. Assim sendo, a adopção de uma solução do género obrigaria à utilização de secções maiores, tornando o processo menos económico e mais difícil de montar, devido ao maior peso.

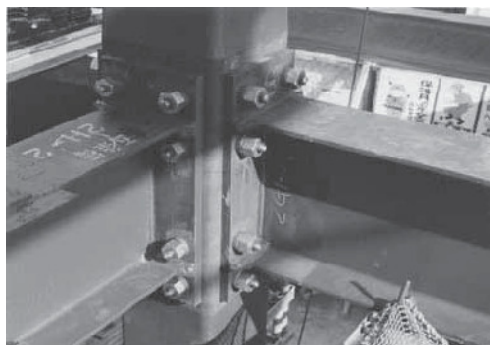


Figura 67. Exemplo de ligação viga/pilar com pilar oco e viga tipo IPE

Assim sendo, uma possível solução seria a adopção de uma estrutura treliçada responsável pelo suporte dos pisos. Soluções semelhantes a estas são utilizadas em grandes edifícios para assim vencer grandes vãos de forma económica, com treliças pré-fabricadas. No presente caso uma solução deste tipo além de ser possivelmente mais económica, poderia possibilitar uma poupança no espaço necessário ao transporte de todo o sistema. Também o processo de montagem poderia ser facilitado, permitindo uma montagem faseada dos diversos elementos, diminuindo o valor das cargas a elevar na construção da habitação.

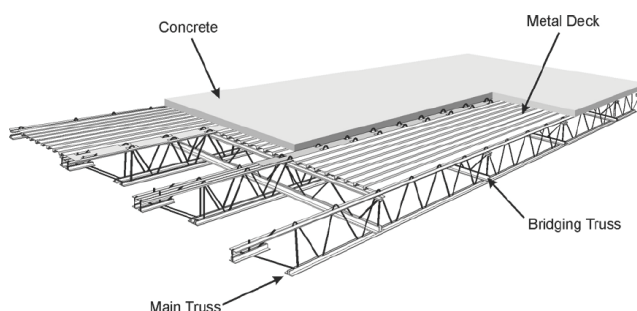


Figura 68. Exemplo de treliça de piso WIKIPEDIA (2011)

Este tipo de solução permite diversas opções, desde a execução de lajes com chapa em aço colaborante ou simplesmente com painéis em madeira. Outra

vantagem da adopção da treliça de piso deve-se ao facto de as diversas aberturas permitirem a passagem de cablagem e das restantes redes necessárias.

Assim sendo, a fim de escolher qual a solução mais económica, compararam-se os 3 tipos de soluções estruturais:

- Solução I: estrutura de pórticos com ligação viga/pilar rígida, com pilares tubulares e vigas em H;
- Solução II: estrutura de pórticos com ligação viga/pilar articuladas, realizada em perfis tubulares e vigas H;
- Solução III: estrutura de pórticos com ligação viga/pilar articulada, realizada em perfis tubulares e viga treliça.

Para aferir a configuração mais económica, realizou-se a modelação e dimensionamento em SAP2000 das tipologias apresentadas. O objectivo é escolher qual destas se revela a mais económica. No caso da tipologia III, foi necessário um estudo um pouco mais aprofundado para definir concretamente a solução a adoptar. Desta forma no capítulo seguinte foi estudada e definida a melhor solução possível para a viga de piso.

4.3.1. Desenvolvimento de viga treliça de piso (solução III)

4.3.1.1. Generalidades

Treliças ou sistemas triangulados, são sistemas constituídos por elementos considerados indeformáveis que se ligam entre si por nós perfeitamente articulados. Por norma este tipo de estrutura fica apenas sujeito a cargas aplicadas nas suas articulações ou nós, para que os seus elementos fiquem sujeitos apenas a esforços normais, permitindo vencer grandes vãos com estruturas leves e económicas.

As treliças podem ser apenas planas ou espaciais. Por norma uma treliça plana é composta por 3 tipos de elementos: corda superior, corda inferior e diagonais (conforme Figura 69).

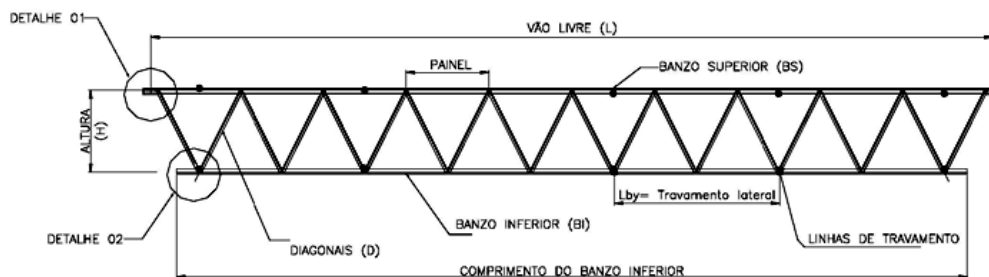


Figura 69. Nomenclatura dos elementos estruturais das treliças de piso D'ALAMBERT e CORREA (2007)

Existe um grande número de tipos de treliças, das quais se destacam, DUTTA (2002):

- Treliça de Warren: composta por cordas que podem ser inclinadas ou paralelas entre si. Os seus elementos diagonais comprimidos podem ser calculados de forma a tirar o máximo partido da sua secção, aumentando ou diminuindo o ângulo de inclinação θ entre a corda e a diagonal. Estudos de optimização indicam que o valor ideal para o ângulo θ , varia entre os 40 e os 50°, DUTTA (2002).



Figura 70. Exemplo treliça de Warren

- Treliça de Pratt: as suas diagonais são compostas por elementos verticais e inclinados, dispostos em forma de "N". À semelhança da treliça de Warren, as suas cordas podem ou não ser inclinadas. A disposição dos seus elementos diagonais resulta num maior número de elementos diagonais comparando com a treliça de Warren, tornando-se assim numa solução menos económica devido ao aumento dos custos de produção inerentes, DUTTA (2002).



Figura 71. Exemplo treliça de Pratt

De forma geral as treliças podem ser caracterizadas pelo vão (V), altura (H), tipo de geometria e distância l_0 entre dois nós consecutivos. Quanto maior for a altura (H) da treliça menores serão os esforços aplicados nos seus elementos. A relação recomendável entre o vão (V) e a altura (H) é entre os 10 e os 15, DUTTA (2002).

Por norma a modelação deste tipo de estruturas recorre apenas à análise elástica, em que os nós são modelados como articulados, mesmo quando a ligação entre estes é realizada através de soldadura. Não é recomendável a modelação com recurso a nós rígidos, isto devido à existência de momentos flectores que tornam o processo de cálculo da ligação e a sua execução mais complexa. É necessário também ter em conta, no dimensionamento individual dos elementos, os esforços induzidos pelas excentricidades nas zonas de ligação das diferentes peças, SIGNS (2008).

4.3.1.2. Definição e desenvolvimento de modelo de viga

No presente caso a treliça de piso a modelar teve os seguintes pressupostos:

- Estrutura leve e económica;
- Divisível em vários elementos, de forma a permitir uma montagem faseada, eliminando problemas de elevação de grandes cargas;
- Treliça montável e desmontável, com recurso a ligações aparafusadas facilitando o seu transporte, tornando-o mais económico;
- Cordas superiores e inferiores horizontais de forma a facilitar a execução dos pisos e tectos.

Desta forma o elemento a desenvolver deverá estar preparado para resistir às cargas verticais provenientes dos pisos, e resistir a cargas horizontais.

Para escolher um tipo de geometria da treliça, modelaram-se diversas geometrias possíveis. O objectivo era perceber qual o tipo de secção transversal e o número de apoios nas extremidades a adoptar para resistir às solicitações externas de forma mais económica. Mais uma vez as estruturas foram modelados em SAP2000 e o processo de dimensionamento adoptado foi através da ferramenta de dimensionamento automático segundo o eurocódigo 3.





As geometrias deverão apenas respeitar as dimensões externas, definidas nos seguintes pontos:

- Limitação da altura (H) da treliça de 0,30 m de forma a não reduzir o pé-direito livre e a respeitar as disposições legais impostas;
- Largura (D) inferior à altura (H) de apenas 0,20 m, para que as dimensões exteriores da treliça de piso e dos pilares sejam semelhantes e compatíveis.

O número de apoios nas extremidades das treliças, foi variado conforme a geometria da secção transversal em causa, num caso considerou-se apenas apoios nos elementos superiores e noutro caso apoios nos elementos inferiores. Como tal nas vigas triangulares considerou-se 2 e 3 apoios e nas vigas de secção quadrada 2 e 4 apoios.

A modelação seguida considerou os elementos diagonais e ortogonais perfeitamente articulados enquanto as cordas superiores e inferiores foram modeladas como rígidas. As acções consideradas nas vigas foram uma acção vertical de 5,40 kN/m aplicada nas cordas superiores, que simulava a acção do peso próprio dos pisos, revestimentos e sobrecarga, e uma carga de 3,60 kN/m também aplicada na corda superior que simulava acção do vento. A Tabela 4 resume para cada tipo de treliça estudada e por tipo de elemento construtivo o peso total em aço da solução adoptada.

Tabela 4. Resumo das soluções treliçadas estudadas


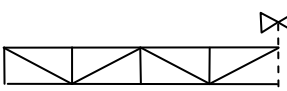





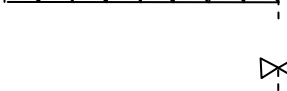

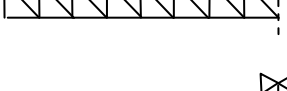
Forma Da secção	Nº apoios	Corda Superior (kg)	Corda Inferior (kg)	Diagonais Verticais (kg)	Diagonais Horizontais (kg)	Elementos Ortogonais (kg)	Total (kg)
	2	25,44	13,18	12,19	5,64	2,35	58,80
	3	25,44	12,72	12,19	5,64	2,35	58,34
	2	29,09	44,74	23,69	17,54	2,80	117,86
	4	25,44	32,11	17,54	17,54	2,80	95,43

Conforme se verifica na tabela anteriormente apresentada, as secções triangulares são as soluções mais leves. Este resultado era o esperado dado que nas vigas estudadas as cordas superiores estavam comprimidas e as inferiores traccionadas. Como tal estando os elementos superiores comprimidos estão sujeitos a problemas de encurvadura. Assim, a existência de um plano na zona superior e de elementos diagonais permite aumentar a inércia e diminuir a esbelteza das cordas horizontais. Por sua vez, nos elementos inferiores que apenas estão sujeitos a tracção os problemas de encurvadura por esforço axial não existem, assim a adição de mais um plano inferior apenas aumenta o número total de elementos diagonais e de ligações, quando o suficiente seria aumentar a secção resistente ao esforço axial de tracção.

Por sua vez dentro das soluções de secção transversal triangular a variação entre dois e três apoios é apenas marginal. Assim sendo, por uma questão de facilidade na realização das ligações, a treliça a adoptar além de ser triangular deverá possuir apenas dois apoios nas suas extremidades superiores.

Após definir as características quanto à forma da secção transversal e respectivos apoios nas extremidades, é necessário definir qual a orientação dos elementos diagonais verticais e horizontais. Para isso realizou-se uma análise semelhante à anteriormente apresentada. Assim sendo, modelaram-se diversos tipos de soluções treliçadas, adoptando diferentes tipos de treliça no plano horizontal e vertical da viga. A inclinação adoptada para os elementos diagonais foi de 45 graus, de acordo com o referido em 4.3.1.1 de forma a otimizar a treliça, e desta forma o espaçamento horizontal entre nós é fixado em 0,6 m. Este afastamento entre nós é compatível com a transferência de cargas dos pisos directamente para os nós, evitando carregar os elementos de forma a gerar flexão nas barras da treliça. Mais importante ainda é a dimensão modular preferencial adoptada, correspondendo a 1/8 do vão máximo do módulo e a 1/4 do vão mínimo do módulo.

Tabela 5. Resumo das soluções triangulares

<i>Tipo</i>	<i>Perfil lateral</i>	<i>Perfil superior</i>	<i>Nº de elementos</i>	<i>Nº nós</i>	<i>Total (kg)</i>
I			50	26	59,39
II			96	49	62,87
III			96	49	62,87
IV			96	49	70,73
V			50	26	59,39

Da Tabela 5 conclui-se que as tipologias mais leves são as soluções do tipo I e IV, sendo que estas têm o mesmo peso mas diferem na orientação dos elementos horizontais. A tipologia do tipo II tem um peso ligeiramente acima das tipologias I e IV, mas com um número de elementos e de nós superior, o

que torna esta solução ainda menos competitiva pela maior complexidade e custos de montagem. Assim sendo, a solução final adoptada para a treliça, foi a solução do tipo I.

4.3.1.3. Modelação

Após a definição do elemento das diversas dimensões da treliça de piso, é necessário modelar este elemento aplicado directamente na estrutura. A fim de contabilizar a excentricidade causada pela ligação viga-pilar na face exterior do pilar, adicionou-se em cada extremidade da viga um elemento em forma de cruz de elevada rigidez.

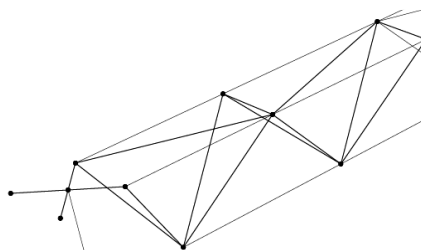


Figura 72. Pormenor da modelação da ligação viga/pilar

As cordas superiores e inferiores foram modeladas como elementos rígidos contínuos articulados nas extremidades. Por sua vez os elementos diagonais foram modelados como simplesmente articulados nos nós de ligação às cordas. Os esforços a obter devido às cargas descendentes deverão estar de acordo com o seguinte diagrama de esforços unitário:

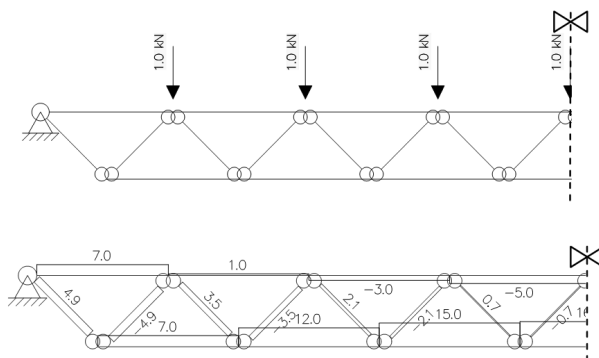


Figura 73. Exemplo de diagrama de esforços unitário da face vertical da viga de piso

Da visualização do diagrama de esforço axial, pode-se prever um comportamento semelhante para a viga treliça de piso a modelar e concluir o seguinte:

- Na corda superior o esforço mais predominante é a compressão do elemento a meio vão;
- O elemento inferior é traccionado, sendo o seu valor máximo a meio vão e mínimo nas extremidades;
- Nos elementos diagonais verifica-se que para cada elemento traccionado existe outro elemento adjacente que é comprimido. Para além disso, os valores de tracção/compressão são semelhantes por cada par tracção/compressão.

As acções aplicadas foram mantidas em relação ao capítulo 4.2, à excepção das cargas permanentes aplicadas nos pisos que foram aumentadas para 1,50 kN/m². Da modelação apuraram-se os seguintes esforços aplicados nos elementos da treliça:

Tabela 6. Esforços aplicados nos elementos da treliça

<i>Elemento</i>	<i>Ned,c (kN)</i>	<i>Ned,t (kN)</i>	<i>My,ed (kN.m)</i>	<i>Mz,ed (kN.m)</i>
Corda superior	72,00	45,67	0,33	0,27
Corda inferior	0	118,35	0,27	0
Diagonal vertical	22,52	19,42	0	0
Diagonal horizontal	25,91	25,21	0	0
Travessas	8,02	9,40	0	0

A partir dos resultados apresentados dimensionaram-se os elementos tendo em conta o disposto no eurocódigo 3. No dimensionamento dos elementos as secções escolhidas observaram alguns pressupostos de forma a facilitar a execução de furos e ligações necessárias ao correcto funcionamento da treliça:

- Execução das cordas superiores em cantoneiras furadas para posteriores ligações aparafusadas;

- Execução das diagonais em perfis tubulares ocos de forma a obter um comportamento melhor à compressão, obtendo assim secções mais económicas;
- Execução da corda inferior em perfil rectangular em aço, dado que apenas está sujeita a tracção. Para além disso a escolha deste perfil permite um encaixe para as diagonais sem excentricidades.

4.3.1.4. Dimensionamento e pormenorização da solução

O dimensionamento efectuado encontra-se disponível no anexo V, as secções resistentes apuradas encontram-se na Tabela 7:

Tabela 7. Secções resistentes adoptadas na treliça de piso

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>G (kg/m)</i>	<i>Quantidade (un.)</i>	<i>L (m)</i>	<i>P (kg)</i>	<i>Percentagem Peso total</i>
Corda superior	L 75x75x5.0	5.76	2	4.55	52.42	52.3%
Corda inferior	Barra 70x8.0	4.4	1	4.3	18.92	18.9%
Diagonal vertical	CHS 21.3x3.2	1.43	28	0.44	17.62	17.6%
			4	0.38	2.17	2.2%
Diagonal horizontal	CHS 21.3x3.2	1.43	6	0.64	5.49	5.5%
			2	0.54	1.54	1.5%
Travessas	CHS 21.3x3.2	1.43	7	0.2	2.00	2.0%
total				4.55	100.16	100.0%

Conforme já foi referido, as secções foram dispostas de forma a realizar uma treliça de piso desmontável, resultando no seguinte perfil transversal:

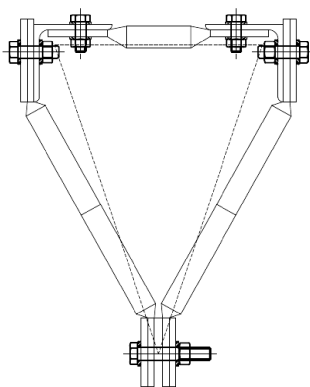


Figura 74. Exemplo da secção transversal adoptada

Na parte lateral da treliça, nos elementos que conferem resistência às acções verticais, as ligações entre as cordas e as diagonais verticais foram realizadas em parafusos M12, com cada parafuso a ser responsável pela ligação de um par de diagonais, permitindo assim diminuir o número de furos e parafusos necessários.

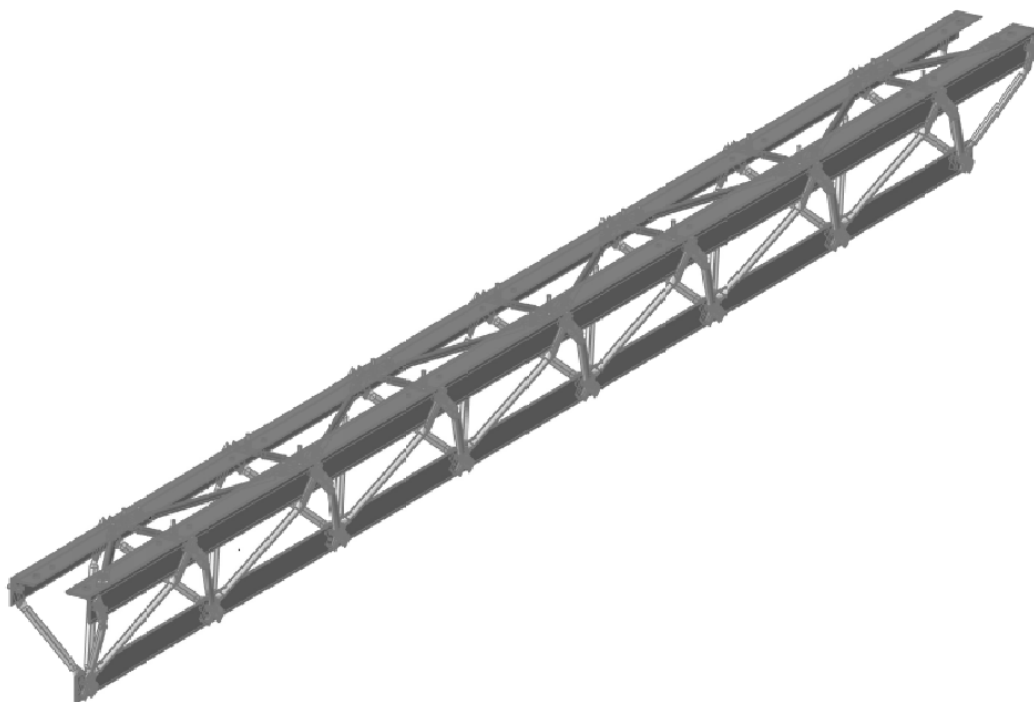


Figura 75. Modelação 3d da treliça de piso

Quanto às ligações entre as diagonais horizontais e as cordas superiores da treliça, devido à geometria adoptada todas as diagonais possuem ligações isoladas às cordas horizontais, dado que devido ao espaço disponível e à inclinação das diagonais não era possível realizar ligações aparafusadas de forma partilhada por mais do que uma corda, sem que se criassem excentricidades incompatíveis com as secções resistentes utilizadas.

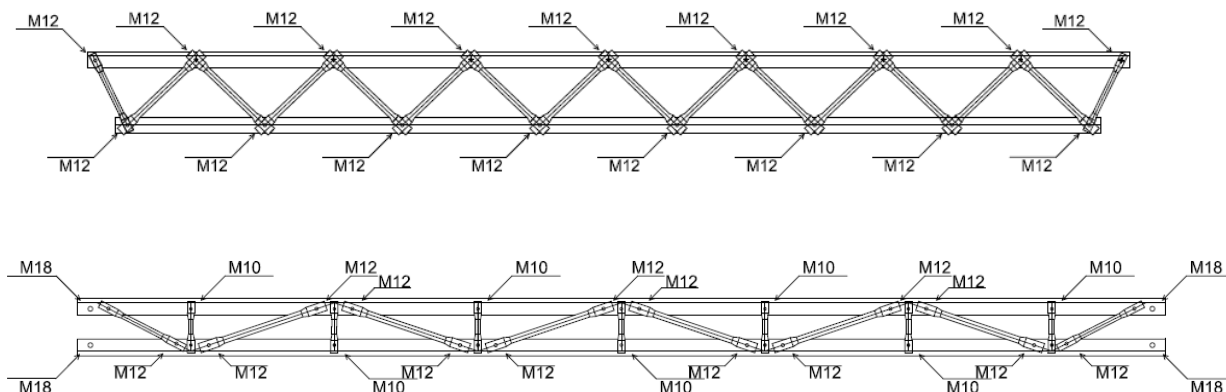


Figura 76. Perfil lateral (em cima) e vista superior (em baixo) da treliça de piso

A escolha na utilização dos perfis tubulares nos diversos elementos diagonais deveu-se essencialmente à sua resistência superior aos fenómenos de encurvadura, mas a utilização deste tipo de perfis torna mais complexa a ligação aparafusada com as cordas superiores e inferiores. A solução adoptada foi a achatamento das suas extremidades de forma a permitir uma ligação aparafusada e, para além disso, os tubos poderão ser inclinados de forma a se adaptarem às dimensões reais da treliça.

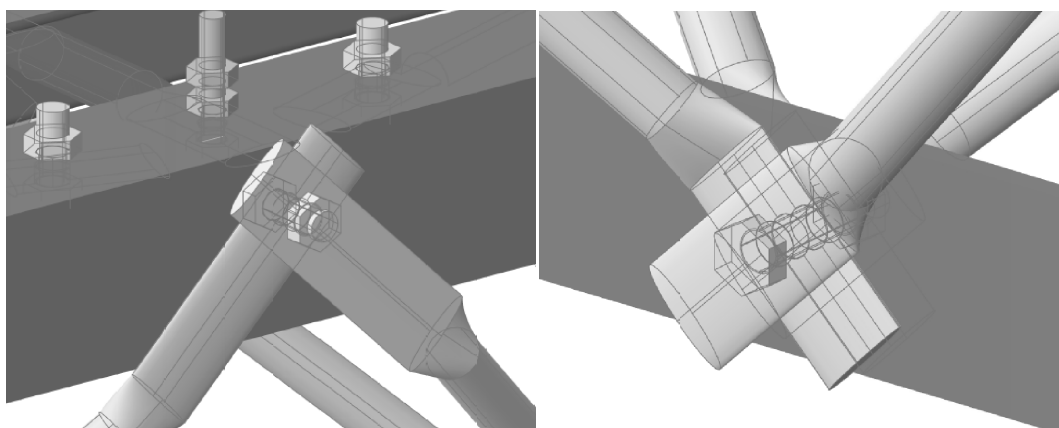


Figura 77. Modelação 3d dos pormenores de ligação das diagonais às cordas superiores (à esq.) e às cordas inferiores (à dir.)

Por sua vez, a ligação entre os pilares e a treliça é executada através de uma cantoneira aparafusada em ambas as extremidades através de 2 parafusos M18.

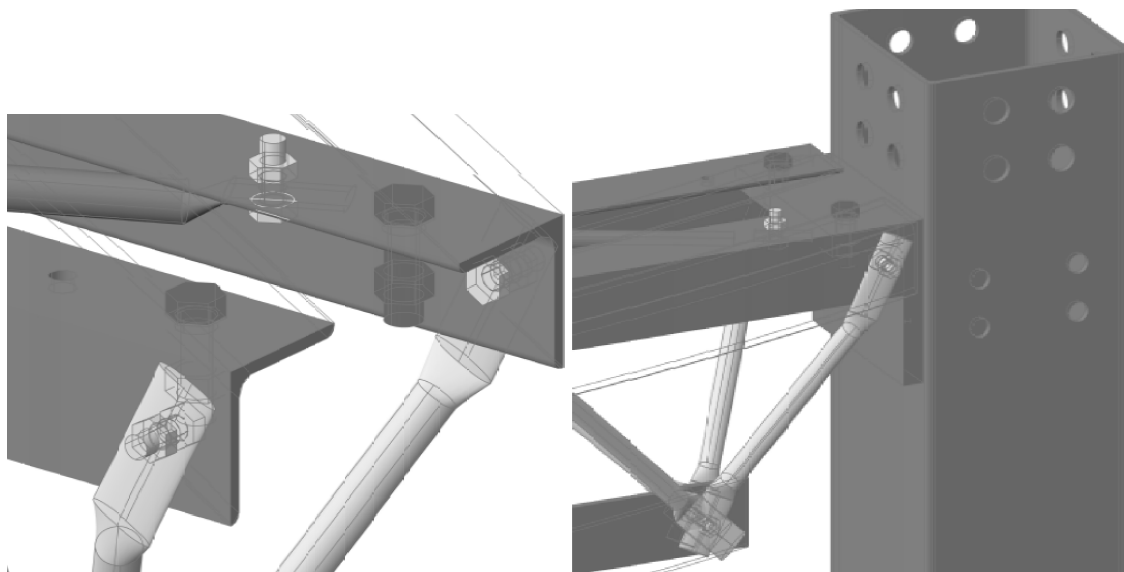


Figura 78. Pormenor da extremidade da treliça (à esq.)

A face horizontal da cantoneira funciona como uma consola, resistindo ao momento flector imposto pelas cargas verticais que a treliça suporta. Por sua vez, a ligação entre a cantoneira e o pilar é feita através de 4 parafusos M14, que resistem ao esforço de corte provocado pelas cargas verticais dos pisos, e resiste também ao momento flector provocado pela excentricidade no apoio das cantoneiras superiores à cantoneira de ligação. Para facilitar o processo de montagem, a ligação aparafusada será feita com recurso a porcas previamente soldadas no interior do perfil do pilar. Desta forma não é necessário o acesso ao interior do mesmo.

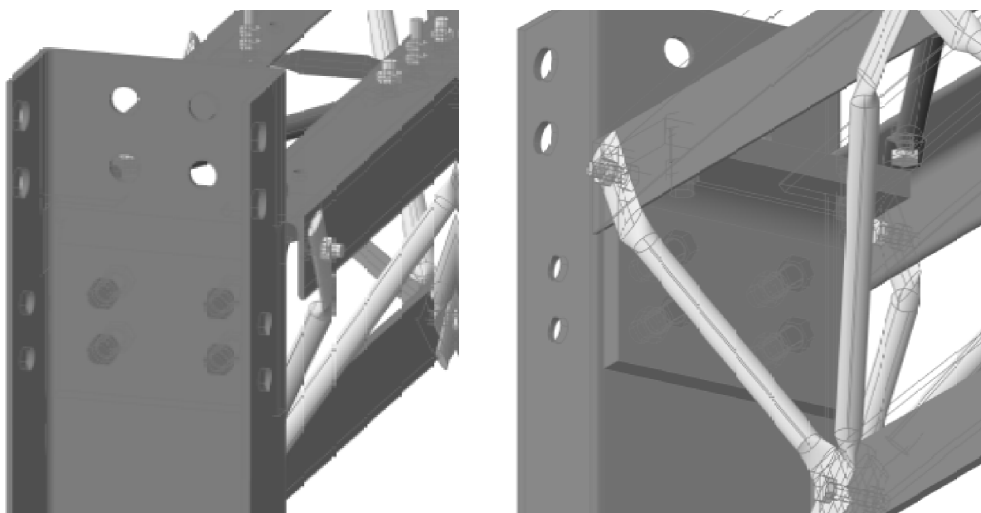


Figura 79. Pormenor 3d da ligação aparafusada treliça/pilar

A ligação através de cantoneira de ligação permite que sejam ligadas mais treliças de piso *a posteriori*, existindo espaço para tal.

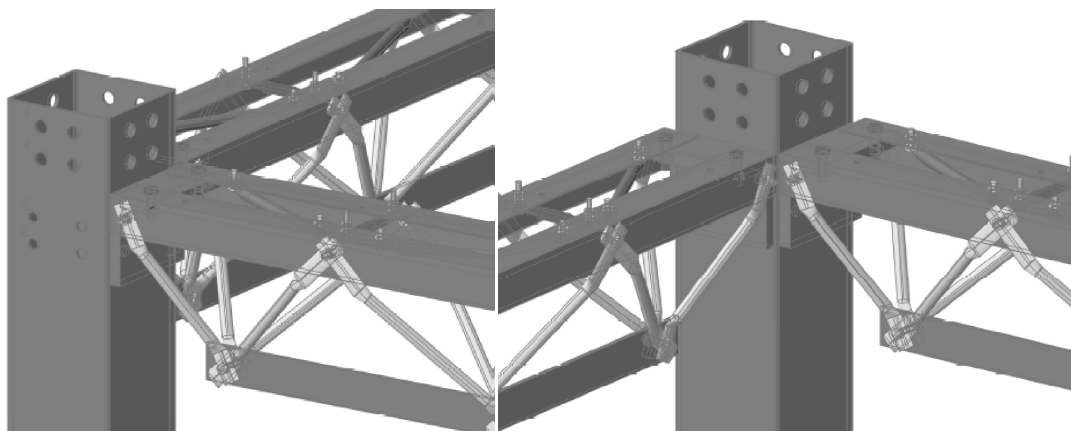


Figura 80. Exemplo 3d da ligação de canto com mais de uma treliça de piso

O recurso a perfis tubulares com as extremidades achatadas e aparafusadas, levanta algumas questões quanto à segurança na sua utilização, nomeadamente quanto à diminuição da rigidez na extremidade esmagada. Este factor torna mais difícil a determinação correcta da resistência à compressão deste tipo de barras sujeitas a uma diminuição de inércia na sua extremidade.

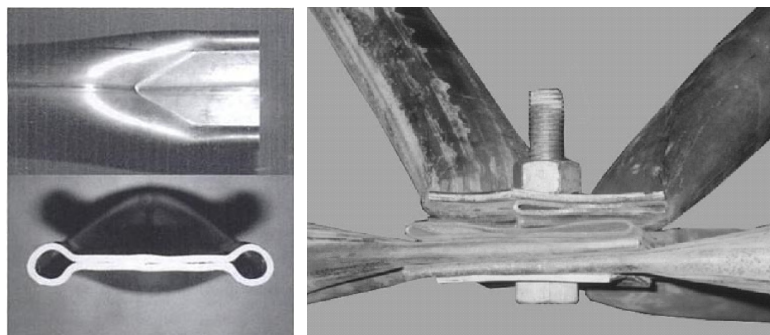


Figura 81. Exemplo de extremidade perfil

Alguns estudos foram já efectuados, nomeadamente MAIOLA e MALITE (2002), MAGALHÃES e MALITE (1998) e DALE, et al. (2003; DALE K. (2003) e segundo MAIOLA e MALITE (2002), na sua análise experimental a nós realizados com perfis com extremidades estampadas, a diminuição da resistência à compressão destes elementos poderá ir até 35%, tendo sido

considerado este valor no dimensionamento dos elementos diagonais da treliça.

4.4. CONSTRUÇÃO E ENSAIO DE MODELO À ESCALA REAL DE TRELIÇA DE PISO

Para estudar melhor o processo construtivo assim como os custos inerentes à construção da treliça de piso e decidiu-se construir um modelo à escala real.

Dado que houve uma grande dificuldade em encontrar grande parte dos perfis metálicos considerados no dimensionamento teve que se alterar algumas secções conforme descrito na Tabela 8:

Tabela 8. Secções resistentes adoptadas na treliça de piso

Elemento	Perfil Dimensionado	G (kg/m)	Perfil utilizado	G (kg/m)
Corda superior	L 75x75x5.0	5.76	L 70x70x7.0	7.38
Corda inferior	Barra 70x8.0	4.4	Barra 70x8.0	4.4
Diagonais e travessas	CHS 21.3x3.2	1.43	CHS 26.9	1.39

Como tal, todo o processo construtivo foi registado fotograficamente, assim como o tempo necessário para cada actividade. Assim sendo, o objectivo será preparar todos os elementos conforme o especificado na Figura 82:

ESQUEMA DE MONTAGEM DA TRELIÇA

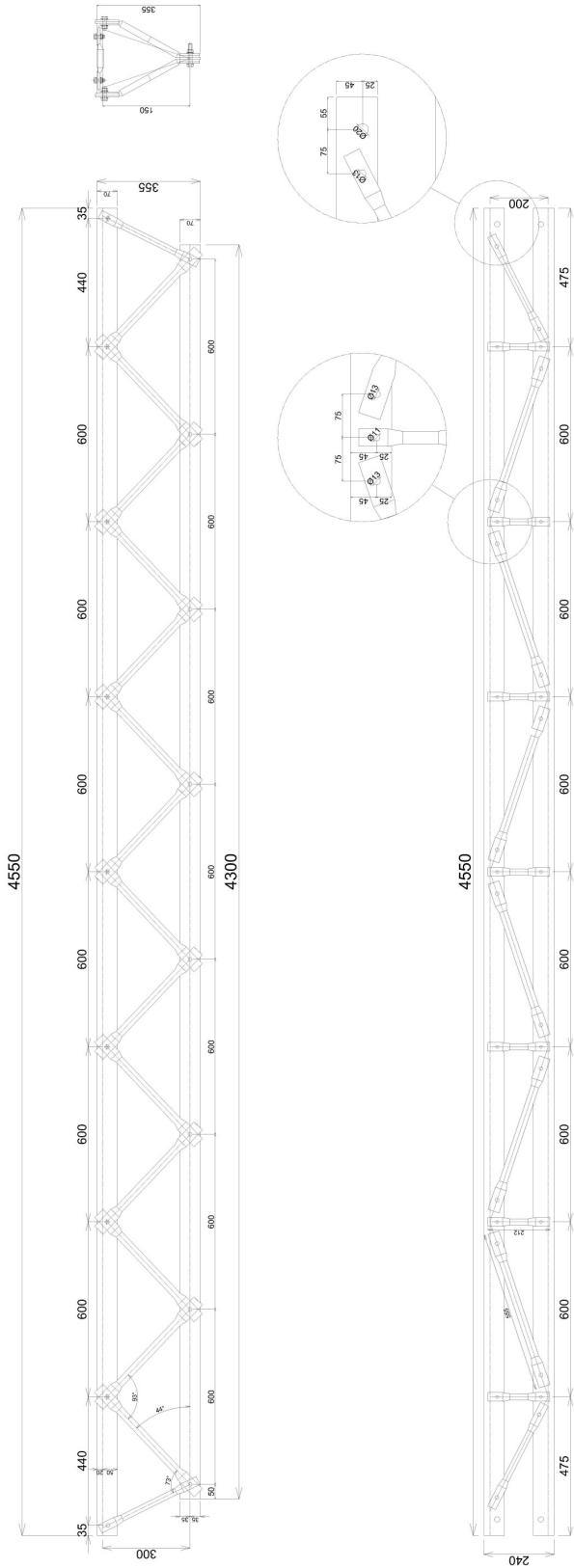


Figura 82. Esquema de montagem da treliça de piso (escala 1:25)

4.4.1. Construção da treliça

O desenvolvimento desta treliça pretendia conceber um treliça em que os trabalhos preparatórios de corte e furação fossem o mais possível simplificados, de forma a poderem ser feitos a um baixo custo. Estes foram divididos em 3 etapas que serão aqui descritas nos capítulos seguintes.

4.4.1.1. Etapa 1 – Marcação, corte e furação dos perfis:

Por norma o comprimento standard com que os perfis laminados a quente são fornecidos é de 6,0 metros, como tal é necessário cortar estes perfis para que fiquem com as dimensões previstas no projecto. Além do corte é necessário executar os furos para permitir a passagem dos parafusos. Para que estas tarefas sejam realizadas de forma correcta e necessário que os perfis estejam devidamente marcados.

No presente caso a tarefa de marcação de cortes e furações demorou cerca de 15 minutos. De seguida as cantoneiras e a barra inferior foram cortadas com recurso a rebarbadora enquanto os tubos cortados com recurso a serra eléctrica. O tempo dispendido em cada actividade encontra-se descrito na tabela seguinte:

Tabela 9. Tempo dispendido na tarefa de corte dos perfis

Elemento	Nº de cortes por elemento	Duração média do corte (min.)	Nº de elementos	Tempo dispendido (min.)
Cantoneira superior	2	2,5	2	10
Barra inferior	2	1,5	1	3
Tubo	1	0,5	47	23,5
total				36,5

Depois do corte de todos os elementos da estrutura, foi realizada a furação. Neste caso apenas se procedeu à furação dos elementos longitudinais dado que os tubos ainda não se encontravam espalmados. De referir a dificuldade de manuseamento destes elementos junto da máquina de execução dos furos

cujo espaço circundante era bastante exíguo, assim como a falta de cavaletes de apoio dos elementos que levou a que o tempo necessário para a execução desta tarefa fosse superior.

Tabela 10. Tempo dispendido na furação dos elementos longitudinais da viga

<i>Elemento</i>	<i>Nº de furos</i>	<i>Tempo médio por furo (min.)</i>	<i>Nº de elementos</i>	<i>Tempo dispendido (min.)</i>
Cantoneira superior	34	1,5	2	105
Barra inferior	8	1,0	1	8
total				113

4.4.1.2. Etapa 2 – Espalmamento dos perfis tubulares:

Para realizar o processo de espalmamento dos tubos foi necessário recorrer a uma empresa exterior para poder trabalhar com uma prensa para espalmar os tubos. Nesta tarefa foi também englobado o tempo necessário para atribuir a inclinação devida aos tubos que compunham as diagonais verticais, o qual não foi muito relevante fruto da facilidade com que estes eram dobrados enquanto estavam presos na prensa.



Figura 83. Processo de espalmamento do tubo através de prensa hidráulica

O processo era mais acelerado sempre que as distâncias de espalmamento dos diferentes perfis fossem mantidas, dado que apenas era necessário adoptar uma medida fixa (bitola), marcada na própria base de trabalho.

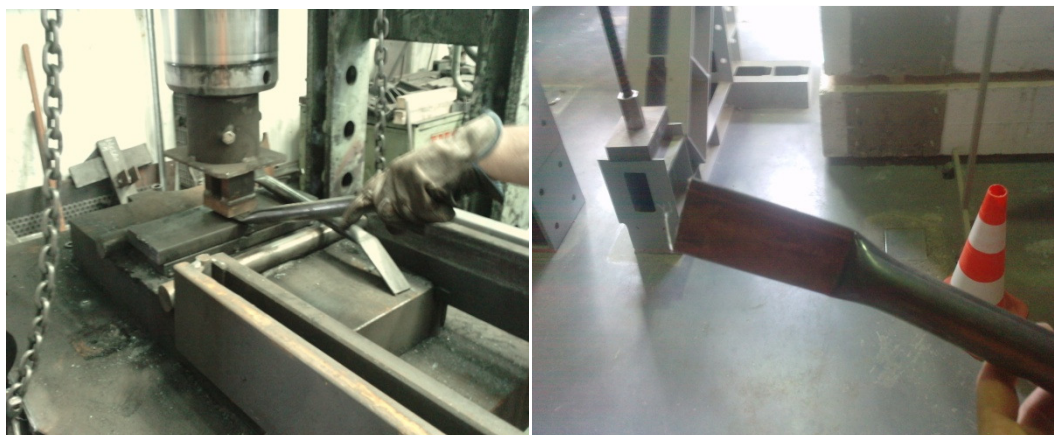


Figura 84. Introdução de inclinação no próprio tubo aquando do processo de prensagem (à esq.) e aspecto final do tubo espalmado (à dir.)

Tabela 11. Tempo dispendido no processo de estampagem dos tubos

<i>Elemento</i>	<i>Nº de elementos</i>	<i>Tempo dispendido por tubo (min.)</i>	<i>Tempo total dispendido (min.)</i>
Diagonais verticais	32	1,3	41,6
Diagonais horizontais	15	1,0	15
total			56,6

4.4.1.3. Etapa 3 - Furação da dos tubos espalmados

A furação dos tubos espalmados recorreu à mesma maquinaria que os elementos longitudinais. Devido ao seu menor tamanho (em comprimento) o manuseamento destes foi mais fácil. O tempo dispendido por furo foi inferior ao verificado anteriormente. Ainda assim, alguns tubos levaram mais tempo do que os restantes, devido ao desgaste e má afinação da broca assim como ao facto de o furo a realizar se encontrar exactamente sobre a zona de soldadura do tubo (conforme Figura 85), o que dificultava a tarefa de furação.



Figura 85. Furação dos tubos espalmados

Tabela 12. Contabilização do tempo despendido na furação dos tubos espalmados

<i>Elemento</i>	<i>Nº de elementos</i>	<i>Tempo dispendido por elemento (min.)</i>	<i>Total (min.)</i>
Diagonais	47	1,4	65,8

4.4.1.4. Resultado final, contabilização da mão-de-obra tempo total dispendido e aspecto final da treliça



Figura 86. Aspecto final da treliça de piso

Tabela 13. Contabilização do custo da mão-de-obra para preparação dos elementos da treliça

<i>Actividade</i>	<i>Tempo dispendido (hr.)</i>	<i>Custo Unitário da mão-de-obra (€/hora)</i>	<i>Custo da actividade (€)</i>
Marcação de cortes e furos	0,25		1,875
Execução de cortes	0,61		4,575
Execução de furações nos elementos longitudinais	1,89	7,50 €	14,175
Espalmamento dos tubos	0,95		7,125
Furação dos tubos espalmados	1,10		8,25
Total			36,0 €

Tabela 14. Contabilização dos custos dos parafusos da treliça

<i>Tipo de parafuso</i>	<i>Nº de parafusos</i>	<i>Custo unitário (€ / p. Unidades)</i>	<i>Custo total (€)</i>
M12	42	0,23	9,66
M10	7	0,16	1,12
total			10,78

Tabela 15. Custo da ligação treliça/pilar

<i>Item</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço unitário</i>	<i>Preço total (€)</i>
Cantoneira L 200x200x22	13,12 kg	0,90 €	11,81
Parafusos M18	2 un.	0.72 €	1.44
Parafusos M14	4 un.	0.35 €	1.40
Total			14,65

Tabela 16. Custo final da treliça longitudinal de piso

<i>Actividade</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Custo unitário</i>	<i>Custo final</i>
Aço em perfil S275	100,16 kg	0,90 €/kg	90,14 €
Mão-de-obra	4,8 hr.	7,50 €	36,00 €
Parafusos da treliça			10,78 €
Ligação viga/pilar	2	14,65€	29,30€
Total peça			166,22 €
Total por módulo			498,66 €

Tendo em conta o processo de montagem da treliça decidiu-se contabilizar o tempo dispendido na montagem da mesma. O objectivo é estimar qual a poupança realizada na construção da treliça pelo próprio dono de obra.

Tabela 17. Tempo de montagem da treliça de piso

<i>Actividade</i>	<i>Número de diagonais</i>	<i>Número de parafusos</i>	<i>Tempo despendido por diagonal (min.)</i>	<i>Tempo total (min.)</i>
Montagem do plano superior da treliça	15	30	2,0	30,0
Montagem dos planos laterais	32	26	2,5	80
Total				110

4.5. ANÁLISE ECONÓMICA DAS DIFERENTES SOLUÇÕES

Conforme já referido no capítulo 4.3 as 3 tipologias estruturais em análise são:

- Solução I: estrutura de pórticos com ligação viga/pilar rígida, com pilares tubulares e vigas em H;
- Solução II: estrutura de pórticos com ligação viga/pilar articuladas, realizada em perfis tubulares e vigas H;
- Solução III: estrutura de pórticos com ligação viga/pilar articulada, realizada em perfis tubulares e viga treliça.

Desta forma dimensionaram-se as três soluções definidas e escolheram-se as respectivas secções. O dimensionamento das soluções I e II foi feito segundo a ferramenta de dimensionamento automático do SAP2000. As secções obtidas estão disponíveis na Tabela 18.

Tabela 18. Secções apuradas em cada solução estrutural

<i>Elemento</i>	<i>Solução I</i>	<i>Solução II</i>	<i>Solução III</i>
	Secção	Secção	Secção
Viga Longitudinal	IPE 240	IPE 270	Treliça
Viga Transversal	IPE 240	IPE 270	Treliça
Pilar piso 0 (0,50 m)	RHS 220x220x6,0	RHS 220x220x12,0	RHS 220x220x8,0
Pilar piso 1 (3,00 m)	RHS 220x220x8,0	RHS 220x220x12,0	RHS 220x220x7,0
Pilar piso 2 (3,00 m)	RHS 220x220x6,0	RHS 220x220x6,0	RHS 220x220x6,0
Total (kg)	961,22	1169,96	736,27

A solução mais leve no presente caso apresenta-se como sendo a solução III. A principal diferença entre a solução treliçada e as restantes prende-se com a

mão-de-obra necessária para elaborar todo o sistema. De facto, enquanto a mera contabilização do peso total de aço em perfil é um simples exercício matemático, a contabilização do custo da mão-de-obra necessária é um processo mais complexo.

Assim sendo, para cada solução estimou-se o custo da mão-de-obra inerente à sua produção.

Tabela 19. Quantificação do custo total da solução viga longitudinal IPE 240 com ligação rígida no pilar;

<i>Item</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Custo unitário</i>	<i>Custo actividade</i>
Aço em perfil (4,58 m)	140,61 kg	0,90 €/kg	126,55 €
Placa de aço S275 (220x380x10.0)x2	13,20 kg	0,90 €/kg	11,88 €
Parafusos M20	8 un.	1,88 €/un.	15,04 €
Parafusos M27	8 un.	0,74 €/un.	5,92 €
Trabalhos de marcação, corte, furação e soldadura na peça	2,0 hr.	7,50 €	15,00 €
Total por peça	1 un.		174,39 €
Total por módulo	3 un.		523.17

Tabela 20. Quantificação do custo total da solução viga longitudinal IPE 270 com ligação resistente ao corte no pilar (articulada);

<i>Item</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Custo unitário</i>	<i>Custo actividade</i>
Aço em perfil (4,58 m)	165,34 kg	0,90 €/kg	148,81 €
Marcação, corte e furações de placas e perfis	0,50 hr.	7,50 €	3,75 €
Placas de aço (140x120x10.0)x4	5,28 kg	0,90 €/kg	11,88 €
Parafusos M20	12	0,74 €/un.	8,88 €
Total por peça	1 un.		173,32 €
Total por módulo	3 un.		519.96

Tabela 21. Quantificação do custo total da solução viga transversal IPE 240 com ligação rígida no pilar;

<i>Item</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Custo unitário</i>	<i>Custo actividade</i>
Aço em perfil (2.18 m)	66,93 kg	0,90 €/kg	60,24 €
Placa de aço S275 (220x380x10.0)x2	13,20 kg	0,90 €/kg	11,88 €
Parafusos M20	8 un.	1,88 €/un.	15,04 €
Parafusos M27	8 un.	0,74 €/un.	5,92 €
Trabalhos de marcação, corte, furação e soldadura na peça	2,0 hr.	7,50 €	15,00 €
Total por peça	1 un.		108,08 €
Total por módulo	3 un.		324.24 €

Tabela 22. Quantificação do custo total da solução viga IPE 270 com ligação resistente ao corte no pilar (articulada);

<i>Item</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Custo unitário</i>	<i>Custo actividade</i>
Aço em perfil (2.18 m)	78,70 kg	0,90 €/kg	70,83 €
Marcação, corte e furações de placas e perfis	0,50 hr.	7,50 €	3,75 €
Placas de aço (140x120x10.0)x4	5,28 kg	0,90 €/kg	11,88 €
Parafusos M20	12	0,74 €/un.	8,88 €
Total por peça	1 un.		95,34 €
Total por módulo	3 un.		286,02 €

Tendo em conta os dados já apresentados, na tabela seguinte contabilizam-se os custos totais por módulo, das três soluções analisadas. Por cada módulo contabilizaram-se 3 vigas longitudinais, 3 vigas transversais e 1 pilar. Na contabilização dos custos dos pilares apenas se contabilizou o custo do material, dado que os trabalhos de preparação a execução são praticamente os mesmos para as secções analisadas.

Tabela 23. Balanço económico das diferentes soluções:

<i>Elemento</i>	<i>Solução I</i>		<i>Solução II</i>		<i>Solução III</i>	
	<i>Secção</i>	<i>Custo por módulo (€)</i>	<i>Secção</i>	<i>Custo por módulo (€)</i>	<i>Secção</i>	<i>Custo por módulo (€)</i>
Vigas Longitudinais	IPE 240	523,17	IPE 270	519,96	Treliça	498,66
Viga Transversais	IPE 240	324,24	IPE 270	286,02	Treliça	293,28
Pilar piso 0	RHS 220x220x6,0	18,00	RHS 220x220x12,0	34,74	RHS 220x220x8,0	23,72
Pilar piso 1	RHS 220x220x8,0	142,29	RHS 220x220x12,0	208,44	RHS 220x220x7,0	125,28
Pilar piso 2	RHS 220x220x6,0	108,00	RHS 220x220x6,0	108,00	RHS 220x220x6,0	108,00
Total (€)	1115,67		1157,16		1048,94	

4.5.1. Conclusões

Segundo a Tabela 24 o preço final da treliça de piso é afectado em cerca de 22% pelo custo da mão-de-obra. A contabilização efectuada teve em conta as

ferramentas e os procedimentos adoptados aquando da construção da mesma no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Tabela 24. Distribuição dos custos nas vigas longitudinais por solução:

<i>Solução</i>	<i>Custo Aço em perfil (€)</i>	<i>% do custo total</i>	<i>Custo mão-de-obra (€)</i>	<i>% do custo total</i>	<i>Custo parafusos (€)</i>	<i>% do custo total</i>	<i>Custo final</i>
I	138,43	79,4%	15,00	8,6 %	20,96	12,0%	174,39
II	160,69	92,7%	3,75	2,2%	8,88	5,1%	173,32
III	113,76	69,6%	36,0	22,0%	16,46	9,9%	166,22

Como tal, e tendo em conta que a construção da treliça foi realizada por pessoal sem experiência e formação na área da serralharia, é possível afirmar que caso estas fossem produzidas em grande quantidade, numa produção em série, seria possível diminuir o tempo necessário à sua fabricação reflectindo-se assim num custo total final inferior.

Aliada à questão da diminuição do custo final da mão-de-obra, fruto de uma melhor performance no processo construtivo, é discutível também o preço unitário adoptado para o quilograma de aço. Actualmente o preço deste tipo de matéria-prima é bastante variável, sendo inclusivamente fixado diariamente no mercado. O preço actual do aço em perfil (cantoneiras, barras, IPE, HBE etc.) ronda os 0,75 €/kg, mas o valor adoptado na contabilização de custos foi de 0,90 €/kg, valor verificado como máximo nos últimos doze meses. Esta opção teve a ver com as oscilações verificadas nos custos dos preços das matérias-primas e principalmente do aço para construção, que têm sofrido uma grande variação nos últimos tempos, fruto da maior procura por parte dos mercados emergentes dos países em desenvolvimento. Assim, assume-se que a tendência actual será para uma subida generalizada no custo das matérias-primas, motivo pelo qual o valor adoptado foi um valor acima do valor actual. Comparando as três opções verifica-se que a opção estrutural com valor mais baixo é a opção III, embora a diferença para as soluções concorrentes seja pequena.

A vantagem no custo final da solução III alia-se à vantagem do seu processo construtivo. Nas soluções I e II o processo construtivo é dificultado pelo peso

total das vigas metálicas maciças que dificultam a sua colocação na zona de ligação, enquanto a solução da viga treliça pode ser montada por fases, sem recurso a qualquer tipo de maquinaria para o efeito, bastando para isso o trabalho de duas pessoas. Conforme se pode ver pela Tabela 25 o peso do plano superior, que é o mais pesado, atinge os 61,45 kg o que é bastante menos do que as soluções anteriores que atingem os 153,81 kg e os 170,64 kg respectivamente.

Tabela 25. Secções resistentes adoptadas na treliça de piso

<i>Elemento</i>	<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>G (kg/m)</i>	<i>Quantidade (un.)</i>	<i>L (m)</i>	<i>P (kg)</i>	<i>Peso total</i>
Plano Superior	Cordas superiores	L 75x75x5.0	5,76	2	4,55	52,42	61,45
	Diagonais	CHS	1,43	6	0,64	5,49	
	horizontais	21.3x3.2		2	0,54	1,54	
	Travessas	CHS 21.3x4.3	1,43	7	0,20	2,00	
Plano Vertical	Corda Inferior	Barra 70x8.0	4,40	1	4,30	18,92	38,71
	Diagonal	CHS	1,43	28	0,44	17,62	
	vertical	21.3x3.2		4	0,38	2,17	

Desta forma e face às vantagens enumeradas a solução estrutural adoptada será a solução III.

4.6. ESTRUTURA VERTICAL

4.6.1. Modelação, dimensionamento e pormenorização

A modelação da restante estrutura principal foi feita da mesma forma que no capítulo anterior. Apesar de as secções resistentes dos pilares já terem sido referenciadas no capítulo anterior, neste subcapítulo irá ser abordado o processo de modelação, dimensionamento e pormenorização dos pilares.

Assim, na modelação da estrutura a ligação entre as vigas treliças e os pilares foi considerada como perfeitamente articulada e a ligação entre os diversos troços dos pilares foi considerada como rígida. O dimensionamento segundo o eurocódigo 3 1-1 dos pilares foi feito de forma automática pela ferramenta de dimensionamento do SAP 2000. O comprimento de encurvadura adoptado no

presente caso, foi de $2.0 L_{real}$, e as secções obtidas estão visíveis no quadro seguinte:

Tabela 26. Secções resistentes dos pilares

Elemento	L (m)	Perfil	P_{total} (kg/m)
Pilar piso 0	0,5	RHS 220x220x8.0	52,7
Pilar piso 1	3,0	RHS 220x220x7.0	46,4
Pilar piso 2	3,0	RHS 220x220x6.0	40,0

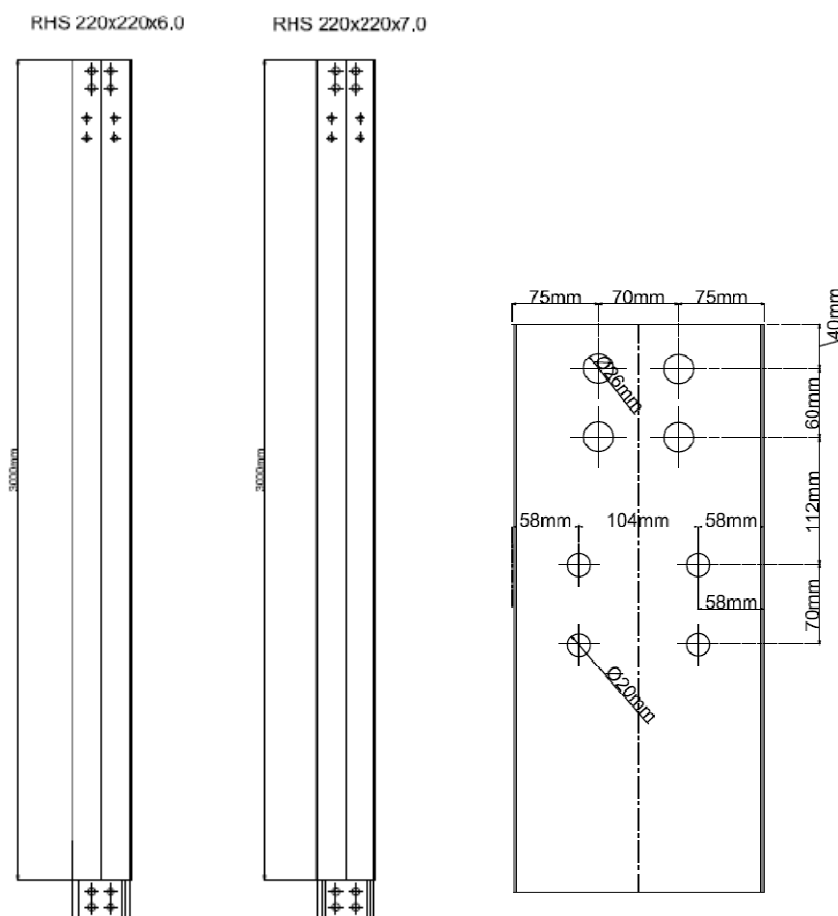


Figura 87. Pormenores dos pilares do piso 1 e piso 2

Conforme já referido, a ligação entre as treliças de piso e os pilares será feita através de uma cantoneira de sustentação. Por sua vez as ligações pilar/pilar serão executadas através de chapas metálicas, realizadas em aço S355, soldadas no interior do pilar superior e aparafusadas com 4 parafusos M24 por face ao pilar inferior. A ligação é feita no interior dos pilares e nas quatro faces destes. Estas chapas realizam a transmissão de esforços assegurando que as extremidades dos pilares estão em contacto, e que a transmissão do esforço

axial é feita entre as extremidades dos pilares. Por sua vez o esforço de corte e os momentos flectores são transmitidos entre as chapas como esforços axiais de compressão ou tracção, estando os parafusos da ligação a resistir a esforços de corte. Os cálculos efectuados no seu dimensionamento estão disponíveis no anexo III.

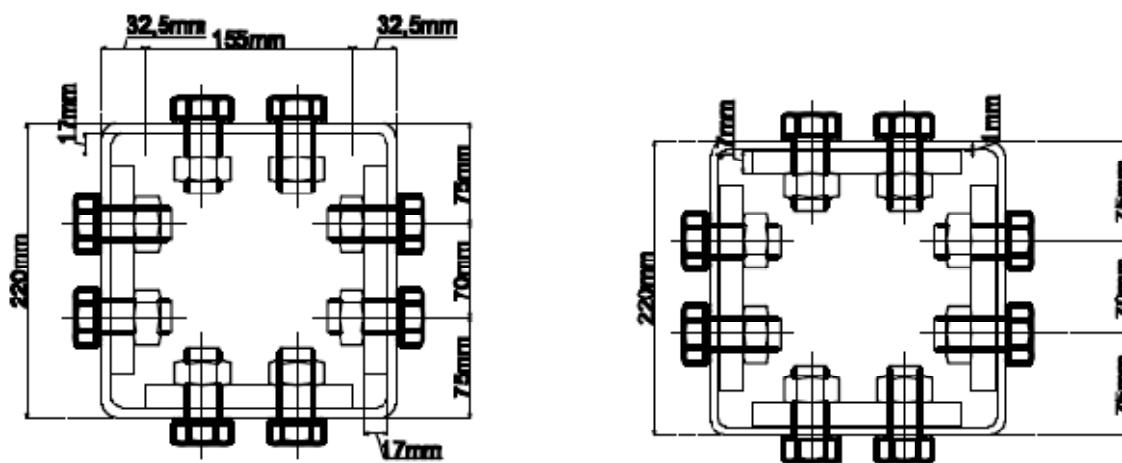


Figura 88. Corte da ligação pilar-pilar na zona aparafusada

À semelhança da ligação entre a treliça e o pilar, a ligação pilar-pilar também será executada através de ligação aparafusada com as porcas soldadas no interior do perfil, não necessitando desta forma do acesso ao interior do pilar para realização da ligação.

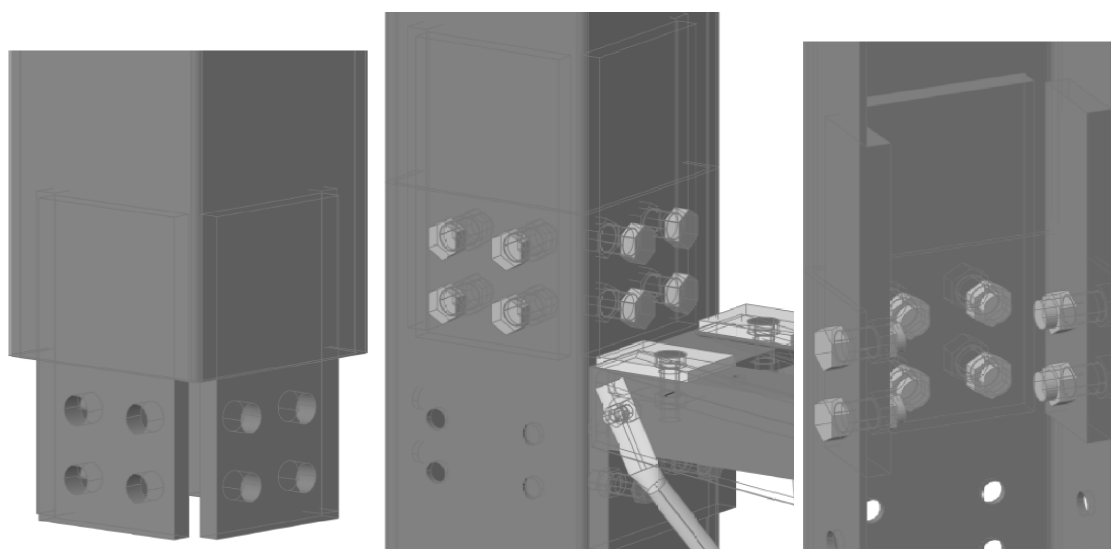


Figura 89. Pormenores da ligação pilar-pilar

A ligação do pilar inferior à fundação será executada através de uma placa de base, soldada perpendicularmente à extremidade do pilar. A placa será aparafusada através de 4 chumbadouros com 24 mm de espessura. O dimensionamento da peça está descrito no anexo IV. e a placa em questão tem uma espessura de 25 mm e dimensões de 430 por 430 mm.

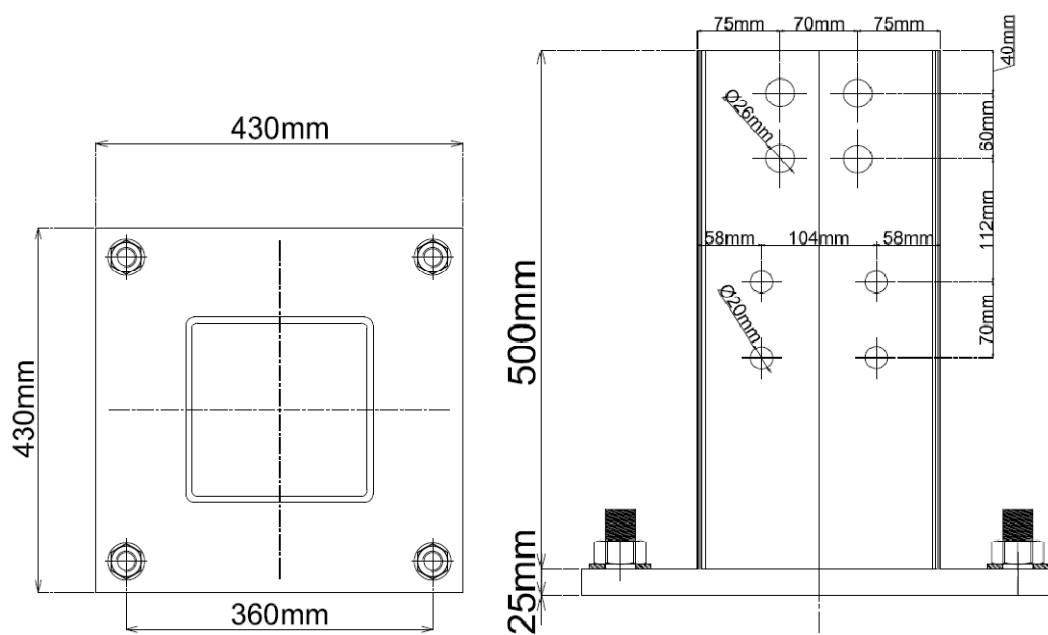


Figura 90. Planta (à esq.) e alçado (à dir.) da base do pilar

Por depender das condições do solo em que a estrutura irá ser assente, o dimensionamento das sapatas não será analisado.

5. SISTEMA DE PISO, FACHADA E COBERTURA

No presente capítulo pretende-se mostrar o sistema construtivo desenvolvido para os pisos, fachadas e cobertura. Estes sistemas são o complemento do sistema estrutural principal adoptado e incluem além da estrutura suporte, os revestimentos e isolamentos que poderão ser adoptados.

A principal tarefa desenvolvida, além do dimensionamento dos diferentes elementos e ligações, foi o desenho e pormenorização a três dimensões das soluções desenvolvidas, que foi a tarefa mais importante na definição objectiva das dimensões dos diferentes elementos, assim como na previsão do aspecto final do sistema.

5.1. SISTEMA DE PISO

O sistema de piso é um sistema em Light Steel Framing semelhante aos *decks* apresentados no capítulo 2.3.2.1, com uma estrutura em perfis enformados a frio e com o piso em placas de OSB. A ligação entre a estrutura principal e o sistema secundário é feita através da extremidade dos parafusos M10 da treliça de piso. Assim sendo, o primeiro passo é a introdução de elementos de apoio para as vigas de piso que serão executadas com “C’s”. Estes elementos poderão ser simples apoios em madeira, com orifício no interior para permitir a passagem da zona roscada do parafuso da treliça e da respectiva porca, conforme a Figura 91. Este apoio deverá ter uma altura mínima de 10 mm de forma a garantir que as vigas de piso estão acima das extremidades das diagonais verticais da treliça. Na modelação em 3D, a secção considerada para este elemento foi de 75 por 100 com 10 milímetros de altura.

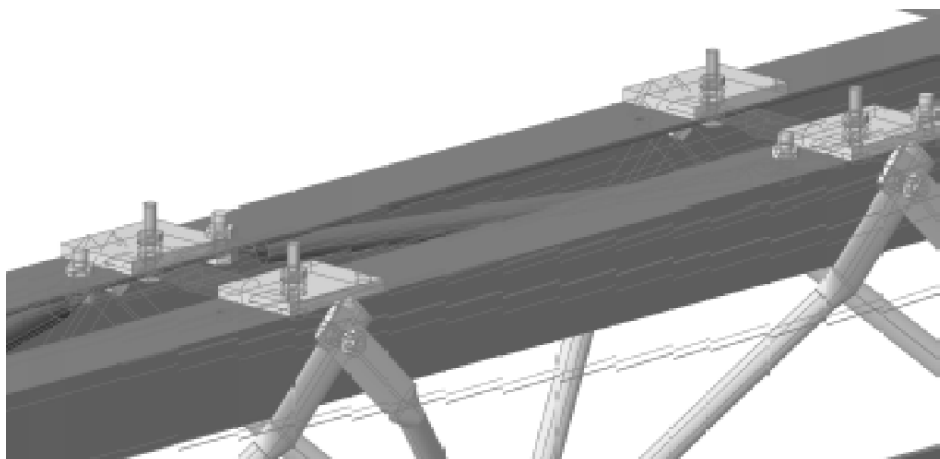


Figura 91. Exemplo dos apoios das vigas de piso.

Adoptando um comprimento de parafuso superior ao necessário, e fornecendo os perfis de piso com um comprimento fixo de 2,35 m e com a furação adequada, é possível criar uma ligação simples e resistente que tira proveito de um elemento pré-existente, sendo apenas necessário acrescentar uma segunda porca extra que fixa o perfil na base de madeira.

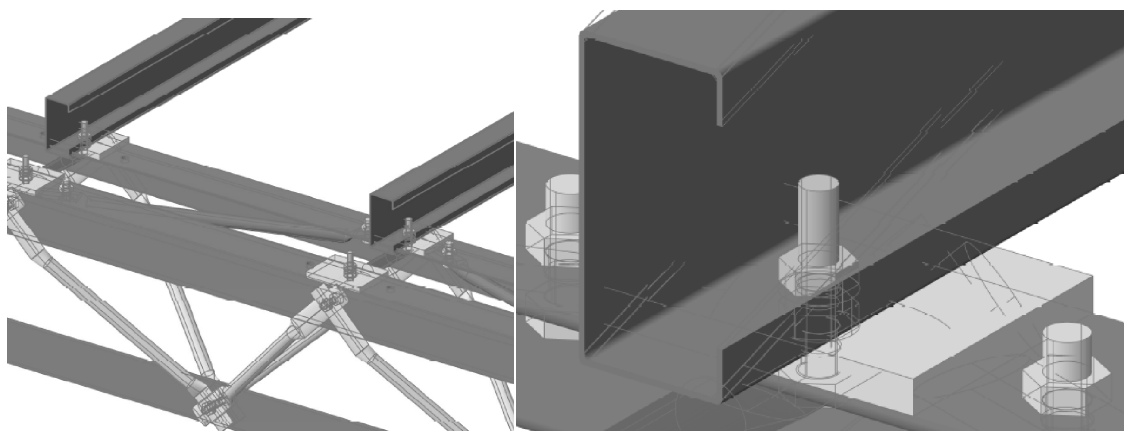


Figura 92. Pormenor 3D da ligação viga de piso com a estrutura principal

Assim, as vigas de piso encontram-se distanciadas entre si cerca de 600 mm, à excepção das vigas nas extremidades em que o distanciamento é de 420 mm.

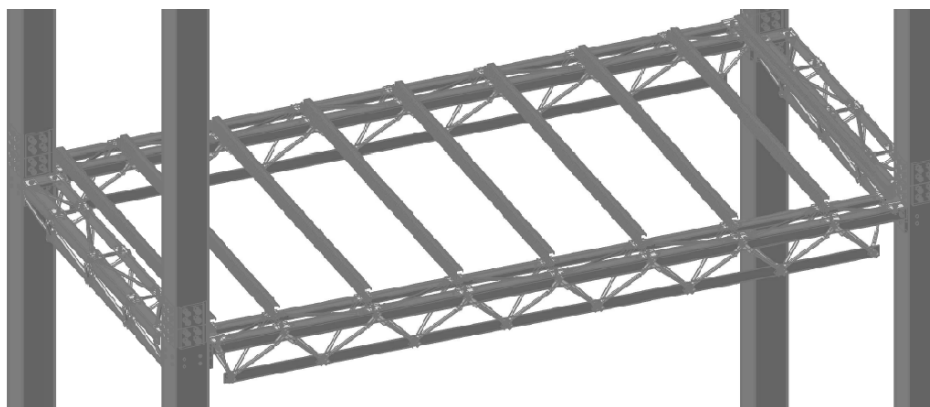


Figura 93. Aspecto geral da estrutura principal com as respectivas vigas de piso fixadas na treliças de piso

5.1.1. Sistema de piso nas zonas singulares

Tendo em conta as diversas disposições possíveis para os módulos estruturais, podem-se criar quatro situações distintas na forma como as vigas de piso se fixam nas treliças de piso:

- Situação I: Ligação comum entre dois módulos estruturais consecutivos;
- Situação II: Ligação comum entre dois módulos estruturais dispostos perpendicularmente;
- Situação III: Zona singular de ligação entre o sistema de piso e a parede exterior, com as novas vigas de piso dispostas na direcção das vigas de piso ordinárias;
- Situação IV: Zona singular de ligação entre o sistema de piso e a parede exterior, com as novas vigas de piso dispostas na direcção das vigas de piso ordinárias.

Assim sendo, nos pontos seguintes irá ser descrita a forma como a solução adoptada se adapta às diferentes situações possíveis.

5.1.1.1. Situação I: Ligação comum entre dois módulos estruturais consecutivos:

Este é o tipo de ligação mais comum e mais simples, sendo apenas necessário adicionar vigas de piso em ambas as extremidades da treliça de piso. O comprimento adotado para as vigas de piso permite que existe uma folga entre vigas de 10 mm, que possibilite eventuais dilatações destas.

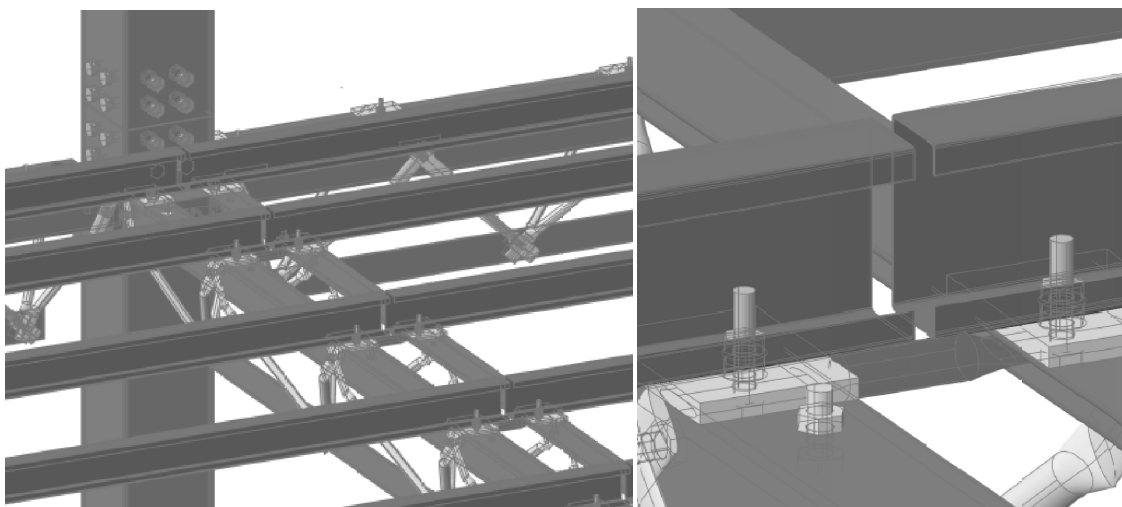


Figura 94. Exemplificação da ligação das vigas de piso em módulos dispostos consecutivamente

5.1.1.2. Situação II: Ligação comum entre dois módulos estruturais dispostos perpendicularmente;

Este tipo de ligação acontece quando dois módulos estruturais se encontram dispostos perpendicularmente. A ligação é semelhante à ligação comum, apenas com a particularidade de utilizar a treliça de piso transversal de um dos módulos.

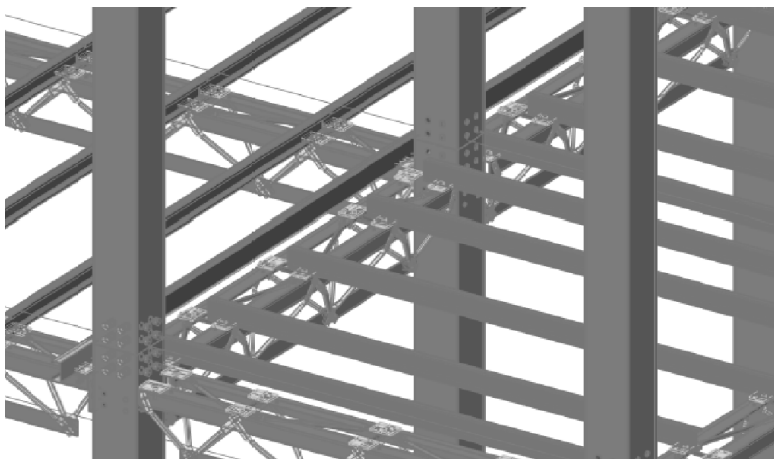


Figura 95. Exemplificação da ligação das vigas de piso em módulos dispostos perpendicularmente

5.1.1.3. Situação III: Zona singular de ligação entre o sistema de piso e a parede exterior, com as novas vigas de piso dispostas na direcção das vigas de piso ordinárias;

Nesta ligação singular é necessário adicionar um pequeno troço de viga de piso que permita a sustentação do deck de OSB até ao limite do módulo, na zona de ligação com o sistema de fachada. Esta pequena viga de piso tem cerca de 320 mm e à semelhança das vigas de piso ordinárias também se apoia nos parafusos da treliça de piso, apesar de este apoio não ser suficiente. Para assegurar a fixação do perfil, a ligação será complementada com uma placa de chapa pré-furada, do mesmo material das vigas de piso, de 2 mm de espessura. Esta será ligada através de parafusos auto-roscantes às duas vigas de pisos, permitindo assim a ligação conforme a Figura 96.

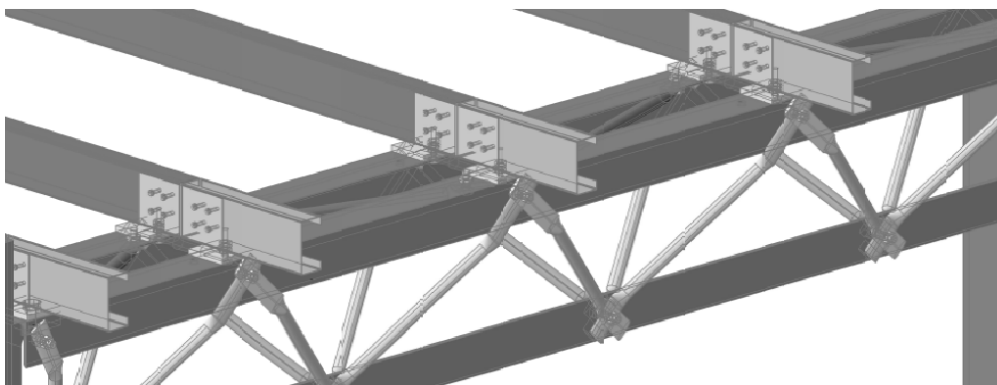


Figura 96. Extremidade do sistema de piso

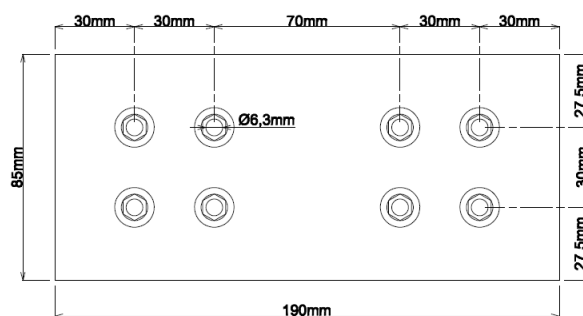


Figura 97. Exemplo de uma chapa de ligação

5.1.1.4. Situação IV: Zona singular de ligação entre o sistema de piso e a parede exterior, com as novas vigas de piso dispostas na direcção das vigas de piso ordinário

Este tipo de ligação acontece sempre que não existem mais módulos adicionados na direcção longitudinal do módulo, sendo assim necessário criar apoios para o *deck* até à zona da intersecção deste com o sistema de fachada.

Assim sendo, e aproveitando os parafusos livres da treliça de piso, a ligação será feita através de uma viga de piso duplamente apoiada na zona dos parafusos. Desta forma o presente elemento fica restringido pelos seus apoios, não havendo hipótese de rotação do mesmo.

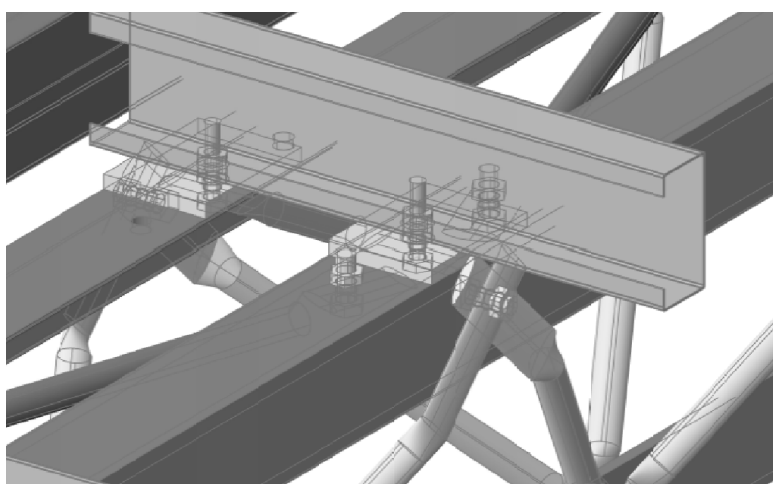


Figura 98. Extremidade duplamente apoiado do sistema de piso

5.1.2. Revestimento do sistema de piso

O conjunto de vigas em aço enformado a frio descrito no capítulo anterior, tem a função de servir de suporte às placas de madeira OSB que formam a superfície onde o pavimento assenta. A adopção de OSB na realização dos pisos permite uma grande diversidade de revestimentos, desde ladrilhos, revestimentos plásticos a piso flutuante. Tendo em conta a grande diversidade de revestimentos existentes, estes não serão aqui analisados, considerando-se estes como uma escolha por parte do dono-de-obra, e aplicados sempre conforme as especificações descritas pelos fabricantes. Será necessário apenas assegurar a ventilação da contra-face do painel para permitir a utilização de ladrilhos ou revestimentos plásticos.

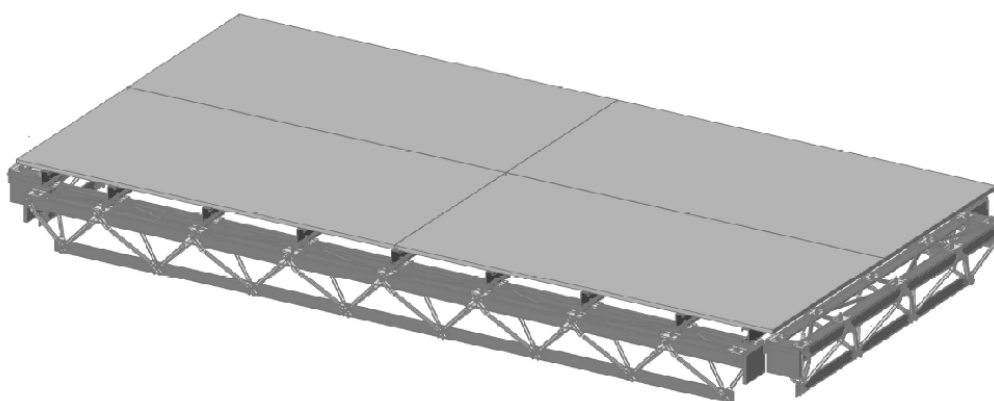


Figura 99. Pormenor 3d do piso realizado em OSB

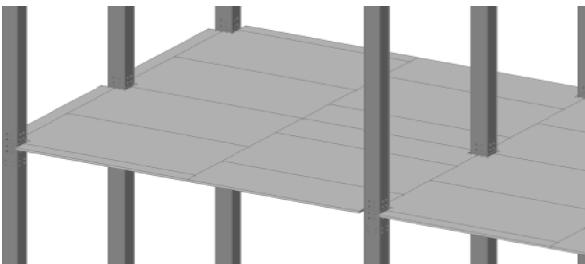
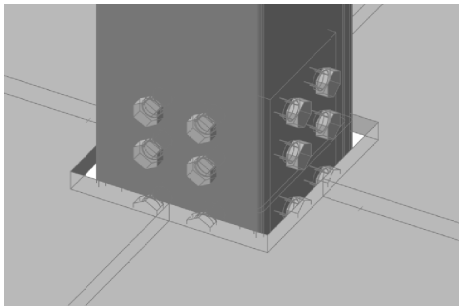
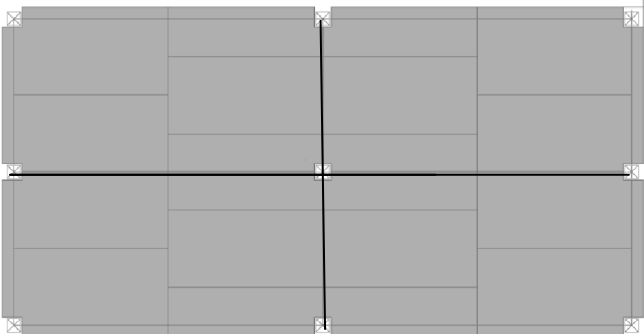
As dimensões standard deste tipo de painéis são de 1200 por 2400 mm, sendo a espessura adoptada de 25 mm dimensionada para um vão de 0,6 m (distanciamento entre as vigas de piso). A fixação entre os painéis e a estrutura de piso é feita recorrendo a parafusos auto-roscantes e o espaçamento entre parafusos varia entre os 15 cm, nos apoios localizados nas extremidades e os 30 cm nos apoios intermédios. A distância entre a extremidade do painel e a última fiada de parafusos deverá ser o correspondente ao triplo do diâmetro do parafuso utilizado com um mínimo de 10 mm.

Os painéis deverão ser assentes de forma perpendicular à sua direcção longitudinal, para que os apoios fiquem dispostos perpendicularmente ao “fio”

dos painéis. Dado que estes não estão apoiados nos quatro lados, é necessário que as extremidades destes sejam maquinadas com engate do tipo macho-fêmea, de forma a permitir a partilha de esforços entre diferentes painéis. Segundo o fabricante é aconselhável a colagem nas zonas de ligação, sem folga. As folgas deverão ser executadas com uma dimensão mínima 10 mm, nas superfícies que tenham entre 30 a 40 m² ou com comprimento máximo de 7 m.

Além dos factores já enumerados, a execução das juntas deverá ser feita de forma desfasada. Desta forma, além da fixação mecânica dos painéis ao suporte, existem 3 tipos de trabalhos de preparação dos painéis a executar no seu assentamento:

Tabela 27. Descrição dos trabalhos de corte na aplicação dos painéis OSB:

<i>Tipo de trabalho</i>	<i>Imagem descritiva</i>
Corte dos painéis de forma a garantir do desfasamento das juntas, conforme especificado pelo fabricante;	
Execução de cortes nas zonas de intersecção dos pilares com os pisos com folga mínima de 20 milímetros;	
Execução das juntas de dilatação de 10 milímetros nas extremidades de cada módulo estrutural, com corte de 5 mm de cada painel na extremidade.	

5.1.3. Tectos falsos e isolamentos

A execução de tectos falsos, recorrerá a sistema convencionais de tectos em gesso cartonado. Existem diversas marcas e sistemas disponíveis no mercado, sendo amplamente utilizados na construção civil, havendo uma grande variedade de acessórios e ligações disponíveis, com diversas dimensões base, incluindo a dimensão de 600 mm. A utilização de tectos falsos deste género permite libertar o espaço entre o painel OSB e a zona da treliça de piso, e a utilização deste espaço para a passagem de tubagens e cablagens.

Assim sendo, aqui será apresentado um dos sistemas comerciais mais comuns da marca KNAUF, que devido à sua configuração é compatível com o sistema construtivo desenvolvido até agora.

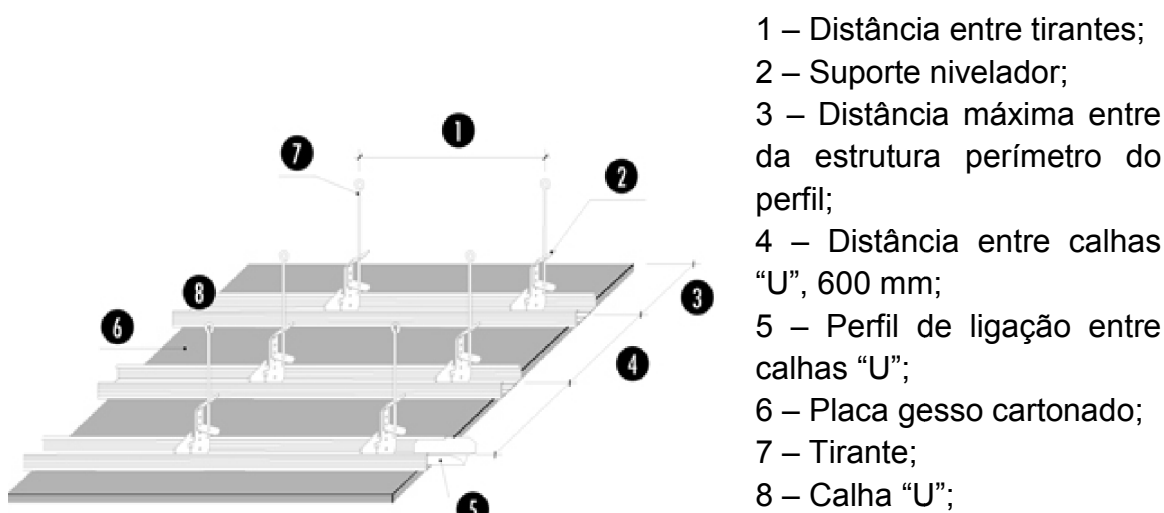


Figura 100. Esquema de montagem do tecto falso KNAUF (2009)

Este sistema assenta num conjunto de tirantes que são fixados às vigas de piso, que por sua vez sustentam calhas em “U” horizontais, dispostas paralelamente entre si. A face inferior das calhas serve de superfície de fixação às placas de gesso cartonado, que são fixadas através de parafusos auto-roscantes. O sistema é complementado por uma calha, denominada como “guia para tecto” conforme a Figura 101. Esta calha está fixada na parede ao longo de todo o perímetro do tecto falso, servindo assim como apoio do tecto KNAUF (2009).



Figura 101. Pormenor de encontro entre o tecto falso e parede *drywall* KNAUF (2009)

Depois da aplicação da estrutura suporte do tecto falso, são aparafusadas as placas de gesso cartonado. Posteriormente à sua aplicação, o acabamento é feito com pastas e tintas adequadas. Estes tipos de acabamentos por norma são executados por profissionais da construção civil. Apesar disso estes tipos de sistemas são desenvolvidos para que o próprio dono de obra possa realizar a sua montagem e reparação, necessitando apenas de ter alguns conhecimentos básicos de *bricolage*.

A estrutura de tecto falso já montada, poderá ser aproveitada para colocar o isolamento exigido por lei entre os diversos pisos. Assim sendo e pela facilidade de aplicação e maleabilidade nas zonas de difícil acesso, o isolamento adoptado entre pisos será manta de lã de rocha, com as espessuras necessárias ao cumprimento do Regulamento das Características de Comportamento Térmico (RCCTE) e em função da zona de implantação da habitação. Além das vantagens já enumeradas, a utilização da manta de lã de rocha na estrutura suporte do tecto falso permite também libertar a zona imediatamente abaixo do painel de piso, permitindo a ventilação da face inferior do painel OSB, imprescindível à durabilidade deste.

5.1.4. Sistema de piso, rés-do-chão

O sistema de piso foi desenhado para estar apenas apoiado em sapatas de betão, encontrando-se assim ligeiramente acima do terreno, não estando previsto qualquer tipo de tratamento ou preparação do terreno. Desta forma abaixo do piso do rés-do-chão localiza-se imediatamente o terreno onde

habitação está implantada. Ora tal situação implica logicamente um conjunto de factores que poderão levar desde a degradação da estrutura pela acção da água das chuvas, ao desconforto térmico, crescimento de vegetação e aparecimento de roedores entre outros na zona abaixo do rés-do-chão.

Assim, para assegurar a durabilidade de todo o sistema face às acções externas, adicionou-se uma membrana que aplicada sobre o solo permite proteger a estrutura da humidade deste.

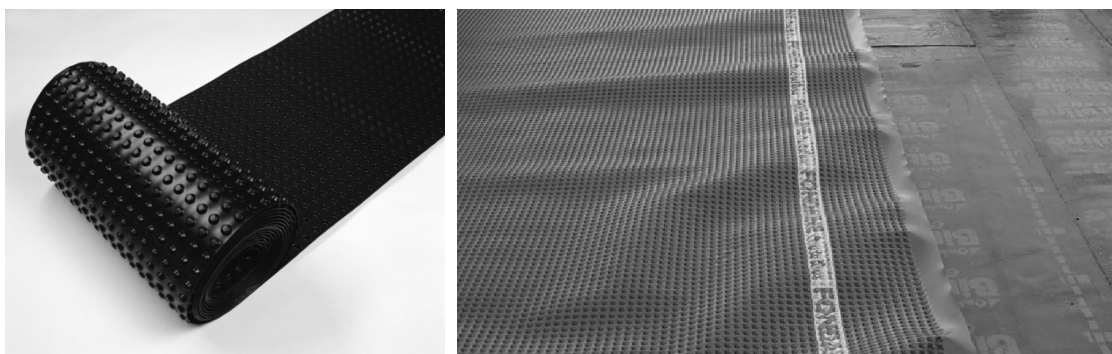


Figura 102. Exemplo e aplicação da membrana protectora

A colocação desta protecção implica a escolha de outra solução construtiva na aplicação do isolamento térmico, dado que a estrutura do tecto falso utilizada anteriormente não servirá de suporte no piso térreo. Assim sendo, o isolamento a executar deverá ser feito recorrendo a painéis rígidos de lã de rocha ou Poliestireno extrudido (XPS). A utilização de painéis de isolamento em detrimento da utilização de mantas isolantes deve-se à forma de aplicação deste, que será nos espaços livres entre as diferentes vigas de piso conforme figura seguinte:

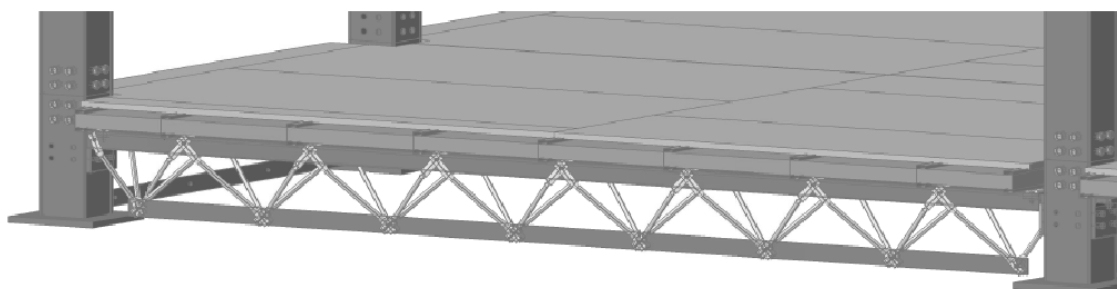


Figura 103. Aplicação do isolamento na zona inferior do painel de piso

A largura base nos painéis é também de 600 mm, o que permite aplicar o isolamento no espaço entre as vigas de piso. Ainda assim, tanto nas zonas singulares como nas zonas de encontro com os pilares e nas vigas de pisos na extremidades dos módulos, é necessário executar alguns trabalhos de corte dos painéis para adaptar estes aos espaços a isolar.

5.2. SISTEMA DE FACHADA

O sistema de fachada inclui não só o sistema de fachada nas zonas de parede ordinária, mas também as zonas onde existirão portas, janelas e zonas singulares como cantos e cantos interiores.

À semelhança do sistema de piso, este será também executado em Light Steel Framing, conforme o sistema apresentado em 2.3.2.1. Assim o sistema será também composto por painéis realizados com junções de perfis em “U” e “C”, dimensionados de forma a resistir a esforços horizontais, nomeadamente à acção do vento.

Para uma maior economia na produção e no transporte destes painéis, estes são fornecidos desmontados, estando a sua montagem a cargo do dono de obra. Os perfis são fornecidos com as dimensões exactas com que serão posteriormente montados. O processo de montagem implica o recurso a ligações aparafusados com parafusos auto-roscantes, usuais na construção em L.S.F.

5.2.1. Zonas contínuas:

Nas zonas contínuas os painéis de parede, depois de montados, terão a dimensão de 1200mm de comprimento por 2906mm de altura. O funcionamento destes painéis assenta no funcionamento do perfil “U” como uma calha, onde os perfis em “C”, que apresentam uma resistência à flexão superior, se ligam através de dois parafusos nas duas abas superiores e inferior (ver Figura 104 à direita). O espaçamento adoptado entre os perfis verticais “C” é igual ao espaçamento das vigas de piso e fixa-se nos 600 mm.

Assim cada painel é composto por duas calhas “U” e dois perfis “C” que estarão dispostos na vertical, conforme a Figura 104 (à esquerda).

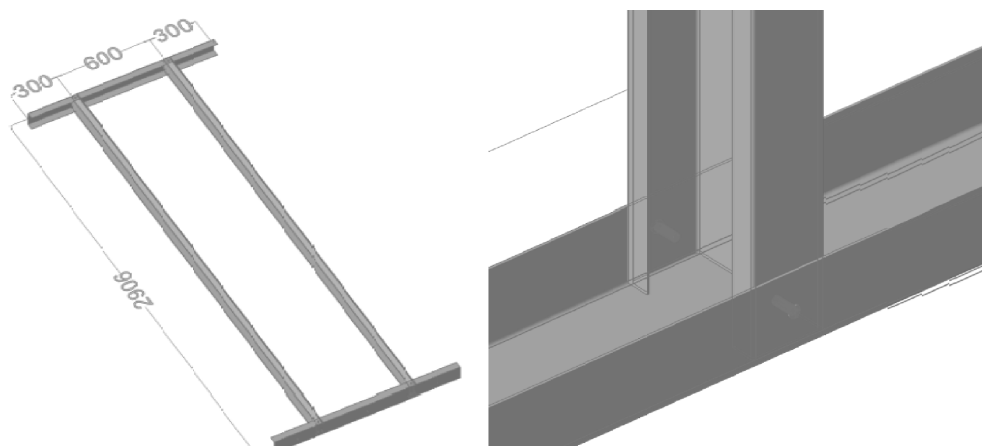


Figura 104. Sistema de parede L.S.F. (à esq.) ligação aparafusada entre as abas do perfil “U” e perfil vertical “C”

Por sua vez as calhas “U” deverão ser fixadas às vigas de piso e à calha horizontal que une as vigas de piso também através de parafusos auto-roscentes. Para cada painel de parede são necessários seis parafusos, três na calha inferior e três na calha superior conforme o pormenor da Figura 105.

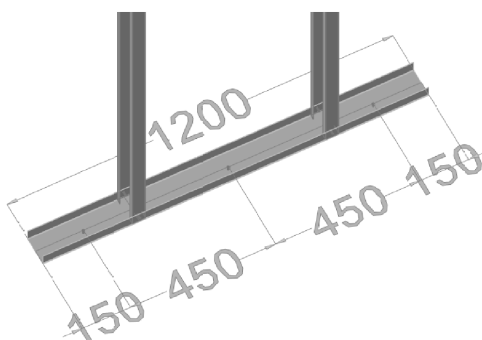
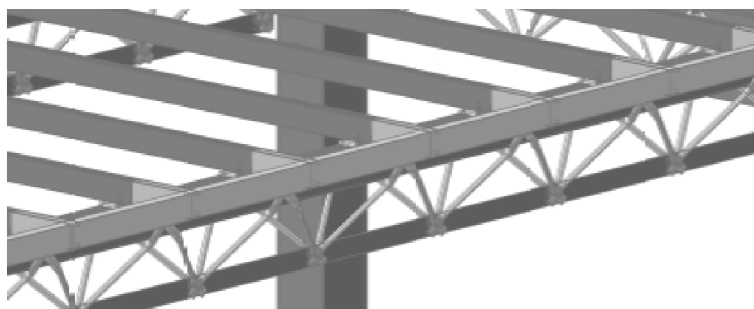
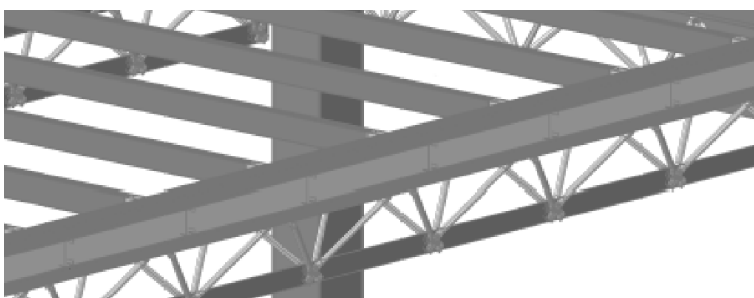


Figura 105. Pormenor 3d da fixação das calhas por parafusos

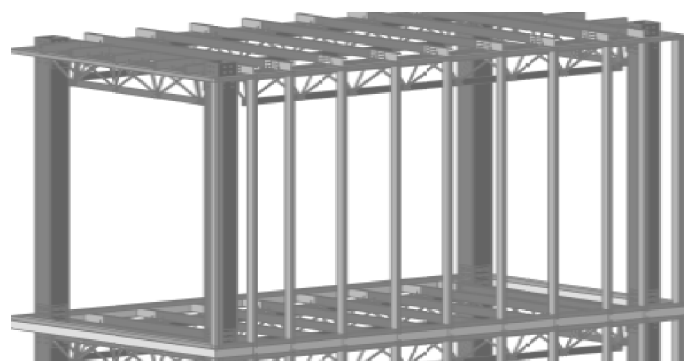
O processo de montagem do sistema de parede exterior é feito em três fases:



1 - Montagem de calha em “U” na extremidade das vigas de piso, através de parafusos entre as abas dos perfis;



2 - Adição das calhas superiores e inferiores;



3 - Adição dos perfis verticais “U”, aparafusado nas abas.

Figura 106. Esquema de montagem do sistema de parede

5.2.2. Sistema de parede nas zonas singulares:

5.2.2.1. Zona de união entre diferentes módulos estruturais:

Estas zonas apenas diferem das zonas contínuas no espaçamento entre as vigas de apoio dos pisos. Em vez de o espaçamento ser de 600 mm, este passa a ser de 420 mm na penúltima viga, acompanhando o sistema de piso, conforme a imagem seguinte:

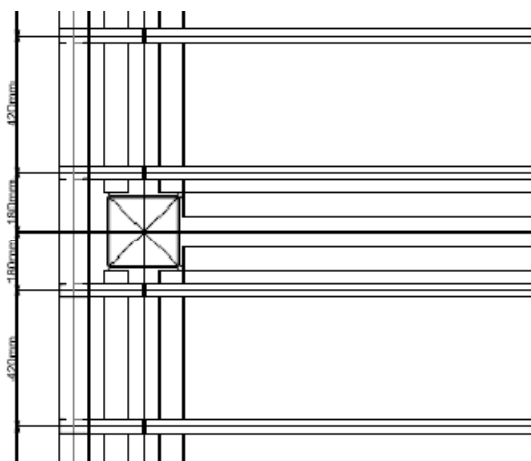


Figura 107. Zona de união do sistema de parede

5.2.2.2. Cantos

No caso das disposições estruturais obrigarem à realização de cantos, o sistema de parede também está preparado para tal. Basta para isso adicionar as calhas apropriadas para o efeito, cortadas na extremidade a 45°. Para assegurar que a ligação entre os elementos é mantida, ambas as calhas são aparafusadas com recurso a uma placa de ligação, em forma de esquadro de 90°.

Após a montagem das calhas na zona do canto, o perfil vertical que será ligado nessa zona será um perfil reforçado, sendo um perfil “c” duplo. Este reforço pretende dar rigidez a uma zona singular onde as acções locais do vento são superiores às zonas singulares.

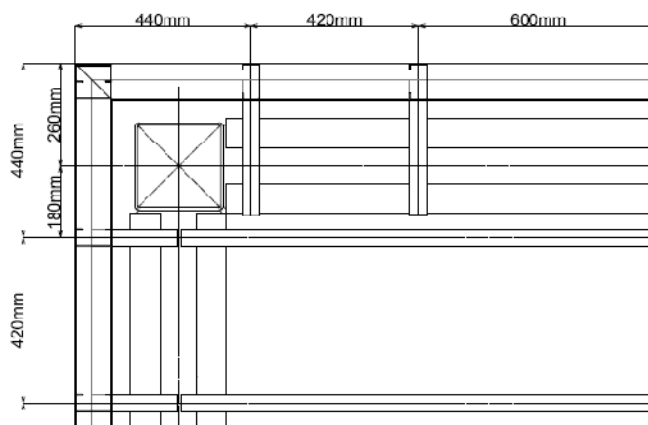


Figura 108. Exemplo do sistema de parede aplicado num canto

5.2.2.3. Cantos interiores

À semelhança da figura anterior, a execução de um canto interior é feita com recurso a calhas apropriadas para o efeito, cortadas a 45° com as calhas aparafusadas às placas de ligação.

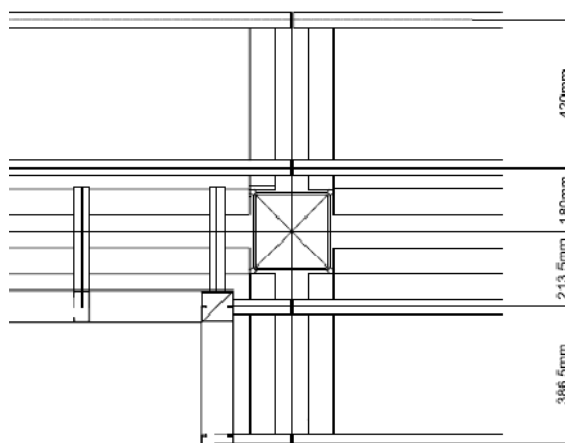


Figura 109. Exemplo do sistema de parede aplicado num recanto

5.2.3. Sistema de fachada: zona de portas e janelas

A adição de portas e janelas no sistema de fachada é feito através da interrupção dos perfis verticais “C” na zona onde as aberturas necessitam de ser executadas. Posteriormente é executada uma “moldura” com perfis em “C” e “U” que atribuem rigidez e resistência para que esta sirva de apoio à caixilharia dos respectivos vãos. No caso das janelas adicionaram-se calhas em “U” na direcção horizontal sobre os perfis verticais “C”, assim como nos perfis que delimitam a “moldura” lateralmente. Para realizar convenientemente a ligação entre as calhas “U” verticais e horizontais adoptaram-se esquadros de ligação que são aparafusados através de parafusos auto-roscantes. A realização deste perímetro em perfil “U” serve também como base de apoio à caixilharia que será adicionada posteriormente.

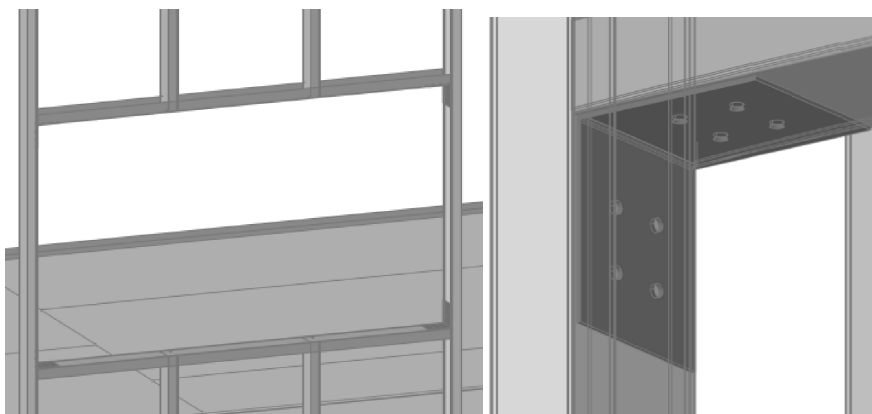


Figura 110. Exemplo 3d da estrutura suporte de uma janela

Na realização de portas ou portas-janelas a única diferença no processo construtivo em relação às janelas prende-se com a zona inferior da abertura em que se adiciona um perfil “C” na calha “U” já existente.

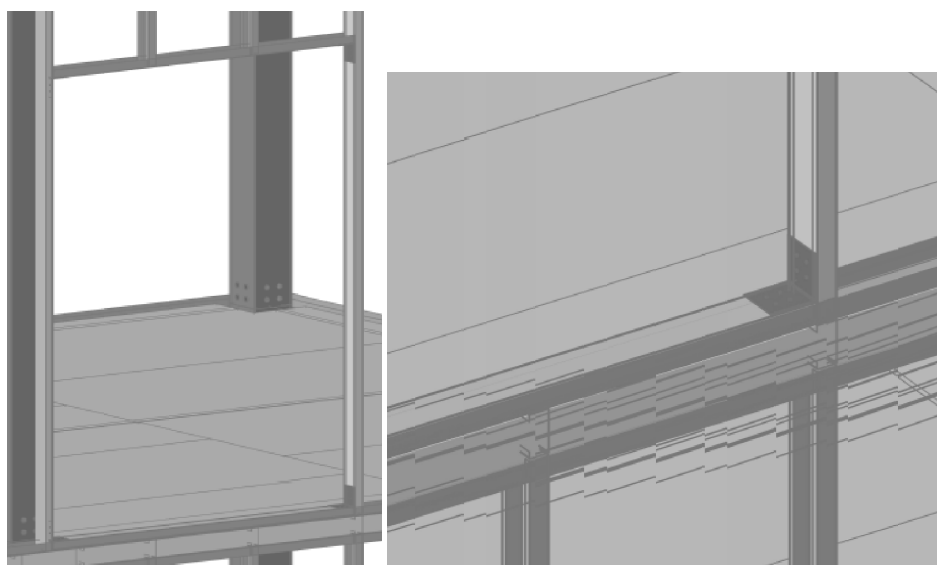


Figura 111. Exemplo 3D da estrutura suporte de uma porta

5.2.4. Sistema de revestimento

O tipo de estrutura secundária adoptada no sistema de fachada, tipo *dry-wall*, permite adoptar diversos tipos de revestimentos e acabamentos para o sistema de parede exterior. Assim é possível considerar os seguintes sistemas de fachada:

- Sistemas de fachada ventilada: este sistema permite um grande número de acabamentos exteriores desde o betão, ao alumínio perfilado, ao vidro, cerâmica, pedra e aos painéis de madeira. Um sistema do género poderia ser implementado com recurso a painéis de madeira OSB com isolamento pelo interior a servir de suporte ao sistema ventilada PATROCÍNIO (2007);



Figura 112. Exemplo de sistema de fachada ventilada PATROCÍNIO (2007)

- Sistema de isolamento térmico de fachada pelo exterior: este sistema consiste num isolamento e protecção de paredes através da fixação de placas de poliestireno expandido nas fachadas, que por sua vez são cobertas e reforçadas com massa adesiva, armada com rede em fibra de vidro para protecção do sistema. O acabamento final pode ser dado de forma contínua através de argamassas apropriadas FREITAS (2002). Este tipo de sistema é por norma o sistema adoptado nas edificações em L.S.F.

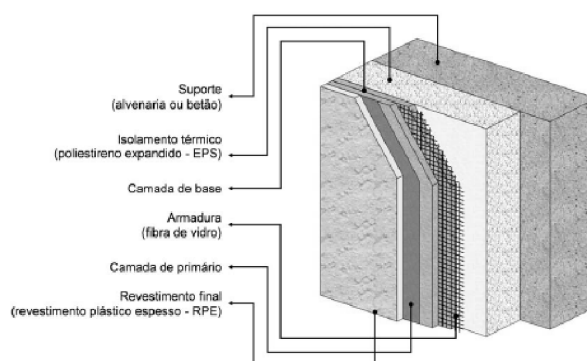


Figura 113. Descrição de sistema de isolamento térmico de fachada pelo exterior FREITAS (2002)

Além da possibilidade de utilizar qualquer um destes sistemas, considerou-se também a adopção de painéis de parede do tipo sanduíche com isolamento incluído, semelhantes aos sistemas sanduíche para cobertura existentes no mercado, semelhantes também ao sistema construtivo modular que recorre a SIP's, conforme o definido no capítulo 2.3.2.4. Seguindo este raciocínio, os painéis poderiam estar disponíveis com e sem acabamento, facilitando e acelerando todo o processo construtivo.

Assim sendo, a base destes painéis poderia ser os painéis de OSB com isolamento aplicado no interior. Os painéis seriam fixados à estrutura secundária através de parafusos auto-roscantes. A fim de realizar um bom aproveitamento das placas de OSB, as dimensões deste tipo de painéis seguiriam as dimensões modulares dos painéis de OSB, ficando estabelecida a dimensão de 1200 por 2400 mm, sendo assim necessários 3 painéis para cobrir toda a altura de parede.

A utilização de painéis sanduíche com estas dimensões implica a definição de pelo menos 4 zonas singulares: nos cantos, cantos exteriores, e nas extremidades superiores e inferiores das paredes.

- Nas zonas singulares dos cantos e recantos é necessário criar painéis específicos com as dimensões e engates necessários à realização dos cantos na estrutura;
- Na extremidade inferior do sistema, onde a estrutura praticamente está assente sobre o solo é necessária uma boa protecção do painel sanduíche, assim como da estrutura secundária responsável pelo seu suporte;
- Na parte superior da fachada é necessário garantir a protecção da extremidade do painel da acção da água das chuvas, além disso será necessário ter em atenção a pormenorização e impermeabilização da ligação do sistema de fachada ao sistema de cobertura, como tal este assunto será apenas abordado em 5.3.

5.2.4.1. Painel sanduíche de parede zona comum:

A colocação dos painéis sanduíche inicia-se pela colocação do primeiro painel a meio de um módulo estrutural, ficando os restantes dispostos consecutivamente a este. Desta forma em todos os panos de parede as extremidades serão simétricas.

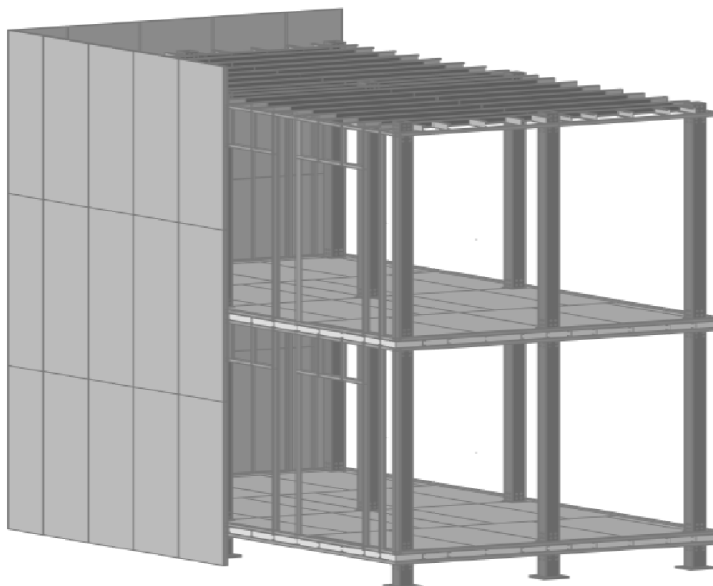


Figura 114. Exemplificação da aplicação dos painéis sanduíche de parede

5.2.4.2. Painel sanduíche de parede na extremidade inferior:

Nesta zona é bastante importante o remate inferior com a membrana impermeabilizante descrita em 5.1.4, a fim de garantir o correcto funcionamento da membrana e a protecção do painel, assim como da estrutura suporte. Assim a tela deverá ser fixada na face exterior do painel de parede, protegendo-o da humidade do solo. A fixação deverá recorrer a pregos espaçados de 25 cm, sendo necessário ter em conta que a zona de fixação deverá ser sempre protegida da humidade: no caso de se utilizarem rebocos térmicos a ligação deverá ficar coberta pelo revestimento, nos casos em que se utilizam sistemas de fachada ventilada deverá garantir-se que a zona de ligação da membrana é estanque.

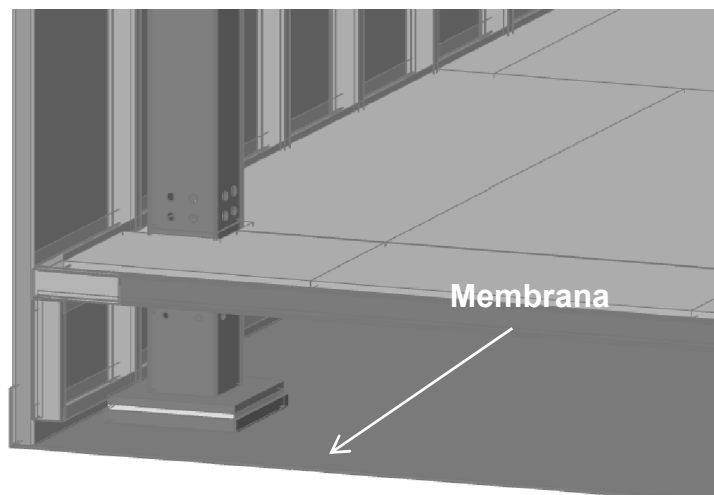


Figura 115. Exemplo da aplicação da membrana

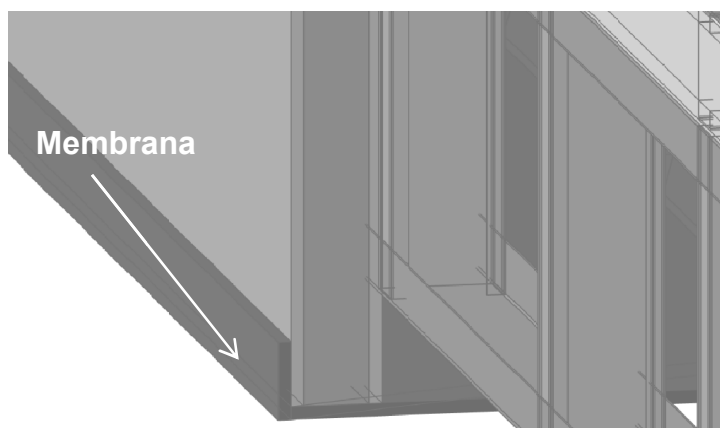


Figura 116. Pormenor da aplicação da membrana

5.3. SISTEMA DE COBERTURA

O sistema de cobertura foi idealizado tendo por base o sistema de pavimento, dado que as cargas aplicadas são da mesma ordem de grandeza. Além disso o sistema deveria proporcionar uma superfície com inclinações compatíveis com o escoamento de água proveniente das chuvas de forma eficaz. Este deverá estar preparado para funcionar em qualquer tipo de orientação dos módulos estruturais, sejam estes dispostos segundo a mesma direcção ou segundo direcções distintas.

O sistema foi pensado para funcionar em coberturas com uma inclinação de 5% e com a realização de apenas duas águas, para facilitar a execução. Se

necessário é possível adicionar mais pendentes, mas tal aumentará o número e quantidade de peças diferentes na montagem do sistema.

O sistema é composto por pelos seguintes elementos:

- Sistema de piso já apresentado no capítulo 5.1;
- Vigas de inclinação compostas: formadas por duas calhas “U” dispostas horizontalmente com perfis em “C” dispostos na vertical, dispostos perpendicularmente às vigas de piso. Estas vigas compostas poderão ser inclinadas ou horizontais, em função da sua posição em relação à direcção da inclinação do telhado.

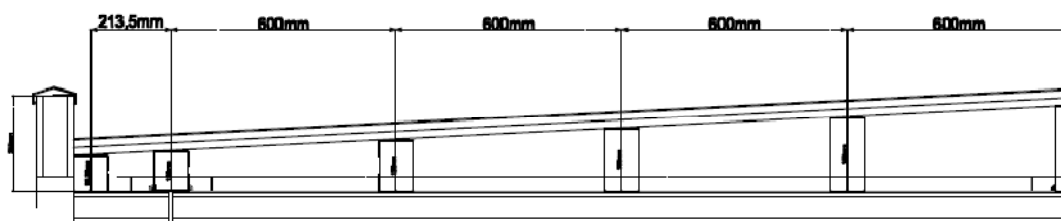


Figura 117. Esquema do sistema inclinado de cobertura

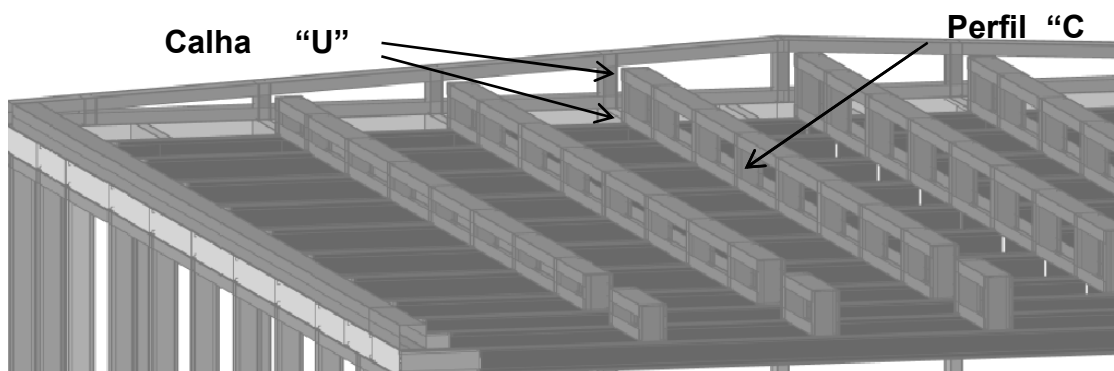


Figura 118. Esquema do sistema inclinado de cobertura (II)

- Cobertura horizontal: cobertura composta por telha em aço galvanizado, isolamento em painel de lã de rocha ou outro tipo de isolamento térmico/acústico rígido e com painéis de OSB com isolamento previamente colado na face exterior.

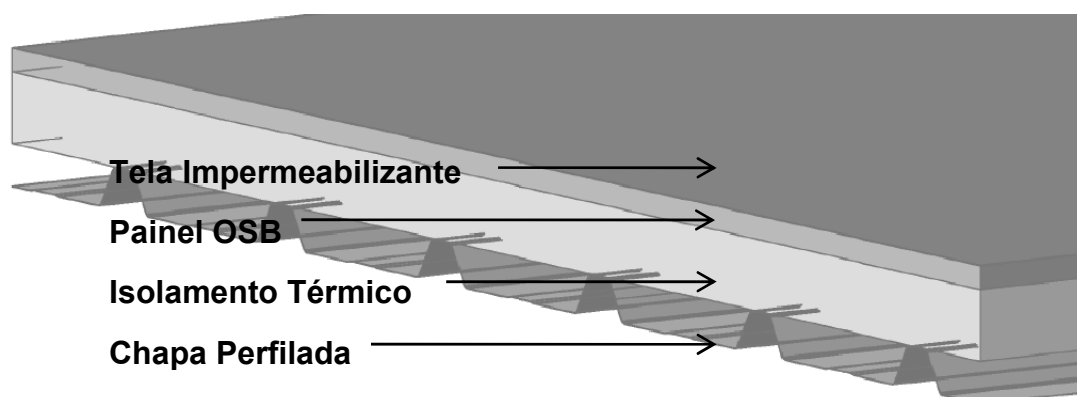


Figura 119. Exemplo do painel de cobertura

Apesar de os painéis de OSB serem fornecidos com a tela impermeabilizante previamente aplicada, é necessário proteger as juntas entre painéis, as juntas com os painéis de parede e os próprios painéis de parede de forma a assegurar a estanquidade do sistema. Assim, a forma mais rápida e fácil de executar as juntas é através de telas impermeabilizantes coladas durante a montagem do sistema, sem recurso a qualquer fixação mecânica ou através de calor. A colagem deverá assegurar a impermeabilização desde o painel de parede até à zona da cobertura. Por se encontrar definido na ficha técnica do produto o modo de aplicação deste tipo de telas, não será aqui abordado.

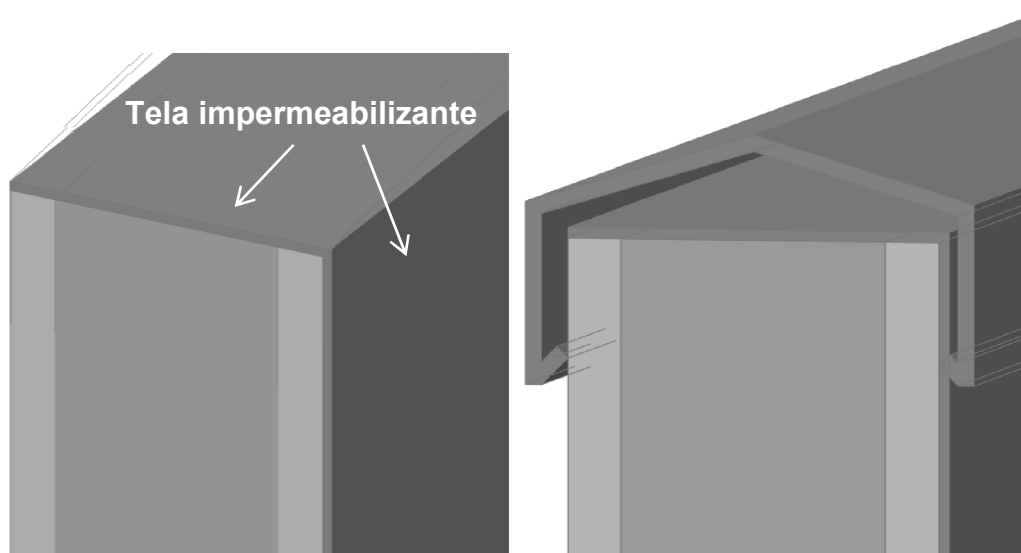


Figura 120. Pormenores da aplicação da tela impermeabilizante (à dir.) e do rufo (à esq.)

O remate entre o painel de parede e o sistema de cobertura assenta no pressuposto de que o painel de parede está sempre colocado acima da cobertura para que este não se torne visível do exterior. Para tal, o painel de parede prolonga-se cerca de 600 mm acima da altura da zona mais baixa da cobertura.

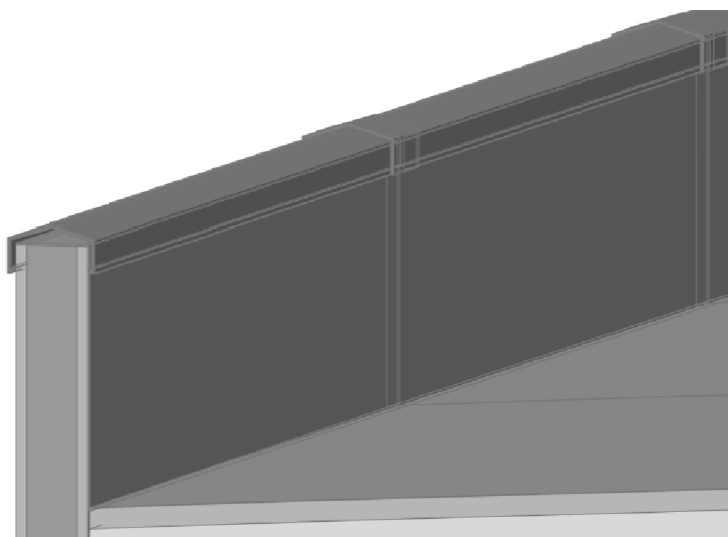


Figura 121. Aspecto final da impermeabilização e aplicação de rufo

Como tal, é necessário realizar o remate da extremidade do painel, de forma a garantir a estanquidade deste. Posteriormente, para finalizar o remate é aplicado um rufo a todo o comprimento em volta da cobertura. Este rufo estaria disponível com um comprimento de 1200 mm e com peças apropriadas para a realização de cantos, cantos exteriores e emendas, tornando simples a sua aplicação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS:

Foi objectivo desta dissertação o desenvolvimento de um sistema construtivo inovador e modular, com base no conceito “flat-pack” de comercialização de mobiliário. Foram dimensionados os seus elementos, as suas ligações e os sistemas de cobertura, de piso e de fachada. A escolha dos diversos materiais e soluções construtivas teve em conta o pressuposto de serem executadas pelo próprio dono de obra.

Na presente dissertação foi apresentada a definição do conceito de construção modular, a sua história, evolução e também alguns dos sistemas modulares existentes actualmente. No desenvolvimento do sistema construtivo modular definiram-se as suas principais características: sistema modular, transportável dentro de um contentor, montado de acordo com o gosto do dono, facilmente montável e alterável ao longo do tempo.

6.1. CONCLUSÕES E CRÍTICAS

Relativamente à construção modular, a pesquisa bibliográfica efectuada demonstrou que este conceito advém de diversas civilizações da antiguidade, sendo utilizada na construção de templos, edifícios públicos e habitações. Mais tarde, aquando da revolução industrial, a utilização de novos materiais, novos processos produtivos e a produção em série, impulsionaram novamente a construção modular. Na segunda metade do século XX diversos arquitectos retomaram este movimento, com ênfase na relação entre as dimensões do corpo humano e as dimensões dos espaços das habitações. Houve também a nível mundial um movimento para uniformizar as medidas padrão mundialmente utilizadas, resultando na adopção do módulo de 10 cm nos países de unidade métrica e de 4 polegadas (10,16 cm) nos países de do sistema pé-polegada.

A construção modular não implica só a adopção de uma dimensão base, mas sim um conjunto sistemas de referências, de medidas, tolerâncias, juntas construtivas e sistema de números preferenciais. A utilização de sistemas modulares permite obter uma racionalização de tempo, custos e desperdícios, podendo contribuir para o desenvolvimento de sistemas construtivos mais sustentáveis e económicos.

No dimensionamento do sistema modular além de se contabilizar as acções indicadas por lei, foi necessário estudar a influência da disposição estrutural nos esforços induzidos na estrutura. Este estudo foi feito com base na estrutura inicial idealizada, composta por perfis rectangulares ocos com ligações aparafusadas. Verificou-se que a geometria da configuração dos módulos é um factor determinante no dimensionamento da estrutura. Como tal tentou-se prever e modelar as diversas configurações possíveis, resultando em 194 configurações distintas, que apesar do elevado número, não representa a totalidade das configurações possíveis,

Como tal devido à morosidade e complexidade do processo de análise, foi necessário restringir o número de disposições estudadas. Assim sendo restringiu-se o estudo a três tipos de disposições possíveis: I+I, I+Z e disposições em “L”.

- Nas disposições I+I e I+Z analisou-se uma grande diversidade de disposições possíveis, tendo-se inclusivamente analisado disposições demasiado extensas, muito pouco prováveis de virem a ser realizadas. Tal deveu-se à forma como o trabalho se foi desenvolvendo, em que havia algum desconhecimento quanto à forma como os esforços induzidos na estrutura iriam variar. Assim é de referir que neste ponto do trabalho poderia ter havido um maior cuidado na sua preparação, tentando através de métodos mais simples prever o comportamento da estrutura, permitindo que a escolha das disposições e das dimensões exteriores da geometria a estudar fosse mais racional;
- Nas disposições em “L” pretendeu-se analisar a influência da adopção de disposições não simétricas, ao contrário dos módulos já estudados.

Neste ponto a complexidade e quantidade de combinações possíveis aumentou e dificultou a análise. A forma encontrada para resolver esta questão foi estudar um pequeno grupo de disposições em “L” e assumir que caso as disposições estruturais não fizessem parte das disposições estudadas, teriam que ser divididas em estruturas mais pequenas e mais simples. Desta forma disposições mais simples não necessitariam de ser subdivididas, facilitando a sua construção.

Depois de analisados os resultados obtidos, escolheu-se um modelo representativo das várias disposições. Mas concluiu-se que as dimensões e características dos perfis metálicos adoptados no seu dimensionamento tornavam a solução não viável, devido às dimensões incompatíveis nas zonas de ligação dos diversos elementos. Assim estudaram-se 3 soluções alternativas do ponto de vista funcional e económico.

As três soluções alternativas foram modeladas e dimensionadas, foi feita uma análise comparativa de custos do material e da mão-de-obra necessária para realizar cada solução. No caso da solução treliçada executou-se um modelo de viga à escala real para estimar o tempo necessário à sua construção e testar a sua usabilidade, dado que esta solução era a que apresentava o custo de material mais baixo, mas que em contrapartida apresentava um custo de mão-de-obra mais alto e mais complexo de estimar.

Concluiu-se no final que o preço das diferentes soluções construtivas era bastante próximo, sendo a diferença entre as duas soluções mais económicas de 6,4%. Comparando as diferentes soluções a percentagem de custos imputáveis às vigas de pisos são respectivamente de 73,2%, 69,7% e 75,5% dos custos totais estimados por módulo. Estes números devem-se a diversos factores: na contabilização do custo dos pilares não foi contabilizado o custo dos trabalhos a realizar no corte e furação dos perfis e na soldadura das placas de ligação, dado que o estudo era apenas comparativo e esse custo é praticamente o mesmo independentemente da secção tubular escolhida; além disso na contabilização do número de elementos por módulo consideram-se 3 vigas longitudinais, 3 vigas transversais e apenas um pilar completo por

módulo. Mas mesmo analisando o custo total dos módulos considerando um módulo estrutural completo, com 4 pilares, 6 vigas longitudinais e 6 vigas transversais as conclusões a tirar são semelhantes:

Tabela 28. Balanço económico das diferentes soluções:

<i>Elemento</i>	<i>Nº de elementos</i>	<i>Solução I</i>		<i>Solução II</i>		<i>Solução III</i>	
		Custo por módulo (€)	% custo final	Custo por módulo (€)	% custo final	Custo por módulo (€)	% custo final
Vigas Longitudinais	6	174.39	37.8%	173.32	34.5%	166.22	38.2%
Viga Transversais	6	108.08	23.4%	95.34	19.0%	97.76	22.5%
Pilar piso 0	4	18	2.6%	34.74	4.6%	23.72	3.6%
Pilar piso 1	4	142.29	20.6%	208.44	27.6%	125.28	19.2%
Pilar piso 2	4	108	15.6%	108	14.3%	108	16.5%
Total (€)		2767.98		3016.68		2611.88	
Diferencial para solução III		6.0%		15.5%		0%	

Como se pode ver pela Tabela 28 a contribuição dos custos das vigas transversais e longitudinais, é inferior à contabilização anterior, sendo em todas as soluções superior a 50% e na solução II superior a 60%. Como tal as alterações das vigas de piso que baixem o seu custo individual poderão ter um grande impacto no custo final da estrutura.

Por sua vez na distribuição de custos da treliça segundo a Tabela 7 e a Tabela 24, cerca de 70% do custo final depende do custo do material, sendo mais de 50% do aço em perfil utilizado nas cordas superiores, uma poupança neste elemento poderá levar a uma redução de custos significativa.

Como tal, no dimensionamento da cantoneira superior os factores que mais pesaram na escolha do perfil em questão foram:

- A largura das abas das cantoneiras de forma a assegurar espaço suficiente para a realização das ligações aparafusadas;

- A baixa resistência deste tipo de elementos à flexão nos seus dois eixos, principalmente quando sujeitos a esforços de compressão e flexão em simultâneo.

Assim, dado que nas tabelas habituais dos fabricantes de aço em perfil não existem perfis que satisfaçam de forma mais eficiente estas necessidades, uma solução a propor é a utilização de um perfil soldado, com uma espessura inferior à utilizada mas com uma largura de abas superior, que permitisse realizar a ligação às diagonais com a vantagem de aumentar o momento de inércia da peça. Sendo que uma solução do género implicaria um estudo aprofundado sobre a sua viabilidade técnica e económica.

No capítulo final foram propostas soluções construtivas para os sistemas de piso, fachada e cobertura. As soluções propostas foram baseadas nos sistemas modulares de *L.S.F.* apresentados, o motivo principal para essa utilização foi o facto de os perfis enformados a frio permitirem uma grande variedade de aplicações distintas, sendo fácil a sua montagem e aplicação, o ideal para um sistema construtivo *D.I.Y.* Além disso a utilização de apenas dois tipos de perfis, permite que em qualquer altura seja possível alterar a disposição destes de forma fácil e rápida, reutilizando os mesmos perfis, caso as suas dimensões permitam a sua adaptação à nova função. Desta forma eliminam-se eventuais desperdícios, facilita-se a montagem e alteração dos diversos sistemas e diminui-se o tempo necessário para estas tarefas.

6.2. DESENVOLVIMENTOS DE TRABALHOS FUTUROS

Para a construção modular se afirmar como uma alternativa de mercado à construção convencional diversos factores terão que ser equacionados, como tal para trabalhos futuros sugerem-se os seguintes:

- Quantificação do custo total das diversas opções construtivas e comparação com os custos da construção convencional;
- Quantificação dos custos do transporte em função dos locais do Mundo a implantar;

- Pormenorização de soluções construtivas mais específica como escadas, caixa de escadas, acessibilidades para deficientes, tubagens cablagens e entre outros;
- Estudo do tempo de vida útil de cada estrutura modular, das necessidades de manutenção e os custos associados.

Referências Bibliográficas

- 5OSA. (2009). *Spacebox Eindhoven 2005 TUE*. de: <http://5osa.tistory.com/entry/Spacebox-Spacebox-Eindhoven-2005-TUE>
- ARKFO, D. (2008). Jean Prouvé af Georg Rotne. de: <http://www.arkfo.dk/artikel/?id=31>
- BALDAUF, A. S. F. (2004). *Contribuição à implementação da coordenação modular na construção do Brasil* Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BREGATTO, P. R. (2005). *Coordenação modular: breve história e aspectos importantes*. In E. d. ULBRA (Eds.), Documentos de Arquitectura: traços e pontos de vista (Google Books)
- BREGATTO, P. R. (2008). *Coordenação modular - Parte I, II e III*. Retrieved Janeiro, 2011, de: <http://bregatto.blogspot.com>
- CASTELO, J. L. D. C. (2008). *Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- CENTURYTEEL. (2009a). *Kit Panel, Steel Structure Insulated Panels*. de: <http://www.centurysteel.pt/kit.html>
- CENTURYTEEL. (2009b). *Método do Módulo*. de: <http://www.centurysteel.pt/modulares.html>
- CENTURYTEEL. (2009c). *Método dos painéis*. de: <http://www.centurysteel.pt/painelizacao.html>
- CHEMILLER, P. (Ed.). (1980). *Industrialización de la Construcción*. Barcelona: Editores técnicos asociados.
- CHING, F. D. K. (Ed.). (1998). *Arquitectura: forma, espacio y orden*. México: GG.
- CRUZ, H. (2007). *Estruturas de madeira lamelada cortada em Portugal. Instrumentos para a garantia da qualidade, Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas Série II nº8 Dezembro 2010*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- D'ALAMBERT, F., e CORREA, F. (2007). *Manuais de Construção em Aço: Treliza tipo steel joist*. Instituto Brasileiro de siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro.
- DALE, K.; GRUNDY, P., e ZHAO, X. L. (2003). *Tubular Structures Testing of flattened-end tube stubs* (Vol. 1). Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands: A.A.Balkema.

- DESIGN, S. U. (2011). de: <http://www.siturbandesign.com/modular/index.html?r=321659875>
- DIAS, J. R. (2007). *Análise e Dimensionamento de Estruturas Metálicas Treliçadas de Transporte de Energia Eléctrica de Acordo com o EC3(EN) e a EN50341-1*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- DONNALLY, T. (2009). *Green Designer Show House Now Under Roof*. de: <http://www.washingtonspaces.com/blog/articles/2009/03/05/green-designer-show-house-now-under-roof>
- DUTTA, D. (Ed.). (2002). *Structures with hollow sections* (Vol. 1): John Wiley & Sons Canada, Ltd. (Jun 14 2002).
- FERREIRA, M. A. (2005). *Apontamentos: Sistemas Construtivos Inovadores*. de: <http://pt.scribd.com/doc/36374474/08-Sistemas-construtivos-inovadores>
- FILHO, I. C. S. (2007). *A Coordenação modular como uma ferramenta no processo projetual*. Tese de Mestrado, Universidade Luterana do Brasil Rio Grande do Sul, Brasil.
- FREITAS, V. (2002). *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior, Reboco delgado Armado sobre Poliestireno Expandido - ETICS*. Porto: Maxit - Tecnologias de construção e renovação Lda.
- GAFFEY, D.; GAMY, R.; HARVEY, C.; ROTHMAN, J., e SNYDER, S. (2006). *Reconstruction Symposium: Modular Building Systems Association*.
- GREVEN, H., e BALDAUF, A. (2007). *Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem actualizada* (Coleção Habitare ed., Vol. 9). Porto Alegre, Brasil: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC.
- GUERREIRO, L. (2011). Página Pessoal de Luís Guerreiro - Textos de Apoio. de: www.civil.ist.utl.pt/~luisg/textos_didaticos.htm
- IMOBILIÁRIA. (2007). *Construção Alternativa*. Revista Imobiliária, nº 179.
- JONG, M. (2003). *Spacebox*. de: <http://www.spacebox.nl/>
- K-PANELS. (2010). *The Kingspan TEK Building System*. de: www.k-panels.co.uk
- KNAUF. (2009). *Knauf Drywall teto unidirecional D112*. de: www.knauf.com.br
- KOSNY, J.; DESJARLAIS, A., e CHRISTIAN, J. (1999). *Whole wall rating/label for structural insulated panels: steady-state thermal analysis*: Oak Ridge National laboratory, Building Technology Center.

- KOTHER, B. M.; FERREIRA, M. D. S., e BREGATTO, P. R. (Eds.). (2006). *O ambiente construído no terceiro milênio: Bases para configuração do habitar humano* (Vol. 1º volume). Porto Alegre: FAUPUCRS.
- LAWSON, M. (2007). *Technical: Building using modules, New Steel Construction Outubro 2007* (Vol. 10 nº5): New Steel Construction.
- LOFT CUBE. (2011). The Loft Cube Project. de: www.loftcube.net
- MACEDO, D. M., e SILVA, E. G. D. (2007). *Classicismo, Coordenação modular e habitação*. de: <http://danilo.arq.br/textos/classicismo-coordenacao-modular-e-habitacao/>
- MAGALHÃES, J. R. M. D., e MALITE, M. (1998). *Treliças Metálicas espaciais: alguns aspectos relativos ao projeto e à construção*. São Paulo: Cadernos de Engenharia, Departamento de engenharia de estruturas da Universidade de São Paulo.
- MAIOLA, C. H., e MALITE, M. (2002). *Análise teórica e experimental de treliças metálicas espaciais constituídas por barras com extremidades estampadas*, Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos, nº20 p-105-125.
- MASCARÓ, H. C. (Ed.). (1976). *Coordinación modular? Qué es?* Summa, Buenos Aires, nº103, p. 20-21.
- MODULARSYSTEM. (2010). *Modular system*. de: <http://www.modular-system.com/site/main.php?a=w&l=pt>
- MUCHE, G. (1923). *A Haus Am Horn*.
- MURUS, S. s. (2009). *PUR (Polyurethane) SIPs*. de: <http://www.murus.com/homeowners/t.sips-technical-info.html>
- NOVO, A. (2007). *Arquiporto/modular system: A nova habitação modernista. Attitude - Interior design*, 16.
- PATROCÍNIO, T. (2007). *Isolamento Térmico de fachadas pelo exterior. Ficha Técnica nº 17*.
- RADZINER, M. P. (2005). *Marmol Radziner prefab*. de: <http://www.marmolradzinerprefab.com/main.html>
- RAMOS, A. T. (2007). *Prefab perfection. Essential Lisboa*, 20.
- RODRIGUES, F. C. (2006). *Steel Framing: Engenharia*. In C. B. d. C. e. A. Instituto Brasileiro de Siderurgia (Ed.), *Série "Manual de Construção em Aço"*, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- ROSSO, T. (1976). *Teoria e prática da coordenação modular*. São Paulo: FAUUSP.

- SÁBADO. (2009). *Casa Alternativa. Revista Sábado*.
- SIGNS. (2008). *Steel Industry Guidance Notes: Truss Design SN 28. New Steel Construction*.
- SOMUNDYBRASIL. (2008). *Viga Treliçada de Piso*. de: http://www.somundybrasil.com/produtos_viga_trelicada_de_piso.htm
- SPACE, U. (2007). *Container city*. de: <http://www.containercity.com/>
- STEEL-CONNECTIONS.COM. (2011). *Steel Connections*. de: <http://www.steel-connections.com/>
- STEEL. (2009). *Especificações técnicas do sistema construtivo Light Steel Framing*. de: <http://www.steel-portugal.com/>
- TIMBER, J. (2011). de: www.jastimber.co.uk
- UBIERNA, E. (2008). *Casas Modulares, solução inovadora. Revista Arte e Cimento nº 54*.
- UFSC. (2003). *Emprego na evolução da arquitectura*. de: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-1/vidros/paginas/emprego_na_evolucao_da_arquitetura.htm
- WEIMAR, B. U. (2009). *Haus am Horn*. de: <http://www.uni-weimar.de/cms/en/university/virtual-tour/haus-am-horn.html>
- WIKIPEDIA. (2011). *Construction of the World Trade Center*. de: http://en.wikipedia.org/wiki/Construction_of_the_World_Trade_Center
- YEANG, K. (1999). *Proyectar com la natureza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Barcelona: GG, 1999.

ANEXO I - Acções e combinações para estudo do módulo e respectivo dimensionamento

1. Acções

A contabilização das acções sobre a estrutura foi efectuada de acordo com o disposto no RSA.

a. Cargas permanentes:

Peso dos elementos do sistema de pavimento:

<i>Elemento</i>	<i>Carga (kN/m²)</i>
Painel madeira OSB 3 (25 mm)	0.113
Isolamento (XPS)	0.021
Paredes interiores	0.416
Sistema Tecto Falso Pladur	0.137
Revestimentos e outras cargas	0.300
Total	≅ 1.00

Peso dos elementos do sistema de parede:

<i>Elemento</i>	<i>Carga (kN/m)</i>
Painel sanduíche Fachada (OSB + XPS + OSB)	0.493
Estrutura L.S.F.	0.220
Revestimentos e outras cargas	0.250
Total	0.963 ≅ 1.0

Peso dos elementos sistema de cobertura horizontal

<i>Elemento</i>	<i>Carga (kN/m²)</i>
Sistema L.S.F. de inclinação	0,123
Paneis madeira OSB 3	0.151
Isolamento (XPS)	0.034
Chapa metálica Perfitec TR75/830	0.071
Sistema Tecto Falso Pladur	0.137
Outras cargas	0.450
Total	≅ 1.0

b. Sobrecargas

Sobrecargas consideradas segundo R.S.A:

$$Q_{k,pisos} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{k,pisos} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

c. Acção do vento

Considerou-se acção do vento segundo quatro direcções distintas, 0, 90, 180 e 270 graus. Na determinação desta acção o objectivo foi assegurar que a acção do vento era a mais gravosa

possível, de forma a salvaguardar a segurança da estrutura independentemente da geometria da mesma, que não pode ser conhecida de antemão.

De fora desta contabilidade ficou a acção do vento em terrenos inclinados, que fruto da sua especificidade teria que ser analisada caso a caso. Como tal considerou-se a habitação implantada na zona B de quantificação da acção do vento, e rugosidade aerodinâmica do solo do tipo II com altura do edifício até 9 metros de altura:

$$w_{k,B} = 1.2 w_{k,A} = 1.08 \text{ kN/m}^2$$

Coeficientes de pressão δ_{pi} e pressões P_{wi} para paredes interiores:

$\delta_{pi} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0.3
$P_{wi} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0.32

Soma algébrica das pressões interiores com as exteriores

	α (graus)	A	B	C	D
$\delta_{pe} \text{ (Kn/m}^2\text{)}$	0	0.54	-0.76	-1.19	-1.19
	90	-1.19	-1.19	0.54	-0.59

Os coeficientes de pressão δ_{pe} foram escolhidos individualmente para cada face do edifício de forma a garantir que se contabiliza a acção mais gravosa na estrutura.

Na aplicação das cargas correspondentes aplicou-se uma carga distribuída directamente nas vigas da estrutura, considerando um comprimento de influência de 2 metros para as vigas do piso 0 e 2, e de 3 metros para as vigas do piso 1.

d. Acção da neve:

Na contabilização da acção da neve, considerou-se uma altitude máxima até 1200 metros de altura e a estrutura composta por uma cobertura do tipo plana

Quantificação da acção da neve:

$H_{Edificio} \text{ (m)}$	1200
$S_{ok} \text{ (kN/m}^2\text{)}$	2.875
$\beta \text{ (}^\circ\text{)}$	0.00
μ	0.80
$S_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	2.30

e. Acção sísmica:

A acção sísmica foi contabilizada segundo o estipulado no capítulo 4.7 do R.S.A., considerando também os efeitos de segunda ordem. A contabilização da acção sísmica, teve por base os espectros de resposta médios gerados a partir das funções de densidade espectral de potência de aceleração das componentes horizontais para a Zona A (Quadro III-I do Anexo III RSA) GUERREIRO (2011). O amortecimento considerado na estrutura foi de 2% e considerou-se apenas a zona sísmica mais gravosa, em que em que o coeficiente de acção sísmica é de 1.0.

Consideraram-se os 2 tipos de acção sísmica obrigatórios (tipo I e tipo II), e dado que o terreno de implantação é desconhecido a priori contabilizaram-se os 3 tipos de solo possíveis.

2. Combinação consideradas

As combinações consideradas foram:

a. Acção base Neve:

$$S_1: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5S_k$$

$$S_2: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(S_k + 0,4W_0 + 0,4Q_k)$$

$$S_3: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(S_k + 0,4W_{90} + 0,4Q_k)$$

$$S_4: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(S_k + 0,4W_{180} + 0,4Q_k)$$

$$S_5: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(S_k + 0,4W_{270} + 0,4Q_k)$$

b. Acção base Vento:

$$W_1: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5W_0$$

$$W_2: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5W_{90}$$

$$W_3: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5W_{180}$$

$$W_4: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5W_{270}$$

$$W_5: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(W_0 + 0,6S_k + 0,4Q_k)$$

$$W_6: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(W_{90} + 0,6S_k + 0,4Q_k)$$

$$W_7: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(W_{180} + 0,6S_k + 0,4Q_k)$$

$$W_8: 1,35(G + R.C.P.) + 1,5(W_{270} + 0,6S_k + 0,4Q_k)$$

c. Acção base Sobrecarga:

$$Q_1: 1,35(G_k + R.C.P.) + 1,5Q_k$$

$$Q_2: 1,35(G_k + R.C.P.) + 1,5(Q_k + 0,6S_k + 0,4W_0)$$

$$Q_3: 1,35(G_k + R.C.P.) + 1,5(Q_k + 0,6S_k + 0,4W_{90})$$

$$Q_4: 1,35(G_k + R.C.P.) + 1,5(Q_k + 0,6S_k + 0,4W_{180})$$

$$Q_5: 1,35(G_k + R.C.P.) + 1,5(Q_k + 0,6S_k + 0,4W_{270})$$

3. Acção base sismo:

$$H_1: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ I,\ solo\ tipo\ I,\ direcção\ sismo\ X} + 0,2Q_k$$

$$H_2: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ I,\ solo\ tipo\ I,\ direcção\ sismo\ Y} + 0,2Q_k$$

$$H_3: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ I,\ solo\ tipo\ II,\ direcção\ sismo\ X} + 0,2Q_k$$

$$H_4: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ I,\ solo\ tipo\ II,\ direcção\ sismo\ Y} + 0,2Q_k$$

$$H_5: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ I,\ solo\ tipo\ III,\ direcção\ sismo\ X} + 0,2Q_k$$

$$H_6: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ I,\ solo\ tipo\ III,\ direcção\ sismo\ Y} + 0,2Q_k$$

$$H_7: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ II,\ solo\ tipo\ I,\ direcção\ sismo\ X} + 0,2Q_k$$

$$H_8: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ II,\ solo\ tipo\ I,\ direcção\ sismo\ Y} + 0,2Q_k$$

$$H_9: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ II,\ solo\ tipo\ II,\ direcção\ sismo\ X} + 0,2Q_k$$

$$H_{10}: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ II,\ solo\ tipo\ II,\ direcção\ sismo\ Y} + 0,2Q_k$$

$$H_{11}: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ II,\ solo\ tipo\ III,\ direcção\ sismo\ X} + 0,2Q_k$$

$$H_{12}: 1,0(G_k + R.C.P.) + 1,5H_{k,Sismo\ tipo\ II,\ solo\ tipo\ III,\ direcção\ sismo\ Y} + 0,2Q_k$$

ANEXO II: Resultados da modelação e dimensionamento dos módulos

1. Modelação dos módulos alinhados:

Solicitação dos elementos estruturais em disposição alinhada

Disposição		Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
<i>Disposição dos módulos por direcção</i>		<i>Rácio</i>	<i>Combinação</i>	<i>Rácio</i>	<i>Combinação</i>	<i>Rácio</i>	<i>Combinação</i>
<i>Direcção longitudinal</i>	<i>Direcção Transversal</i>						
D	I	0.30	H1	0.50	H1	0.44	H2
	2I	0.44	H1	0.50	H1	0.67	H2
	3I	0.43	H1	0.51	H1	0.75	H2
	4I	0.43	H1	0.52	H1	0.78	H2
	5I	0.43	H1	0.52	H1	0.80	H2
	6I	0.44	H2	0.52	H1	0.80	H2
	7I	0.44	H2	0.52	H1	0.81	H2
	8I	0.46	H2	0.52	H1	0.82	H2
	9I	0.46	H2	0.52	H1	0.83	H2
	10I	0.47	H2	0.53	H1	0.83	H2
2D	I	0.44	H1	0.65	H1	0.46	H2
	2I	0.55	H1	0.66	H1	0.73	H2
	3I	0.57	H1	0.68	H1	0.79	H2
	4I	0.58	H1	0.68	H1	0.82	H2
	5I	0.59	H1	0.69	H1	0.83	H2
	6I	0.59	H1	0.69	H1	0.84	H2
	7I	0.60	H1	0.69	H1	0.85	H2
	8I	0.60	H1	0.70	H1	0.85	H2
	9I	0.60	H1	0.70	H1	0.86	H2
	10I	0.60	H1	0.70	H1	0.87	H2
3D	I	0.45	H1	0.72	H1	0.46	H2
	2I	0.55	H1	0.73	H1	0.73	H2
	3I	0.57	H1	0.74	H1	0.78	H2
	4I	0.58	H1	0.75	H1	0.82	H2
	5I	0.59	H1	0.76	H1	0.83	H2
	6I	0.59	H1	0.76	H1	0.84	H2
	7I	0.59	H1	0.76	H1	0.85	H2
	8I	0.60	H1	0.76	H1	0.85	H2
	9I	0.60	H1	0.77	H1	0.86	H2
	10I	0.60	H1	0.77	H1	0.86	H2

Solicitação dos elementos estruturais em disposição alinhada (continuação):

Disposição		Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
<i>Disposição dos módulos por direcção</i>		<i>Rácio</i>	<i>Combinação</i>	<i>Rácio</i>	<i>Combinação</i>	<i>Rácio</i>	<i>Combinação</i>
<i>Direcção longitudinal</i>	<i>Direcção Transversal</i>						
4D	1	0.50	H1	0.75	H1	0.46	H2
	2I	0.61	H1	0.76	H1	0.72	H2
	3I	0.64	H1	0.78	H1	0.79	H2
	4I	0.65	H1	0.79	H1	0.82	H2
	5I	0.66	H1	0.79	H1	0.84	H2
	6I	0.66	H1	0.79	H1	0.84	H2
	7I	0.66	H1	0.80	H1	0.85	H2
	8I	0.67	H1	0.80	H1	0.85	H2
	9I	0.67	H1	0.80	H1	0.86	H2
	10I	0.67	H1	0.80	H1	0.87	H2
5D	1	0.50	H1	0.80	H1	0.46	H2
	2I	0.60	H1	0.80	H1	0.72	H2
	3I	0.63	H1	0.82	H1	0.79	H2
	4I	0.64	H1	0.82	H1	0.82	H2
	5I	0.64	H1	0.83	H1	0.84	H2
	6I	0.65	H1	0.83	H1	0.84	H2
	7I	0.65	H1	0.83	H1	0.85	H2
	8I	0.65	H1	0.84	H1	0.85	H2
	9I	0.66	H1	0.84	H1	0.86	H2
	10I	0.66	H1	0.84	H1	0.87	H2

2. Modelação dos módulos dispostos em direcções opostas:

Solicitação dos elementos estruturais em disposição "I+Z"

Disposição Modelação	Tipo	Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
		Rácio	Combinação	Rácio	Combinação	Rácio	Combinação
IZ	D	0.52	H2	0.64	H2	0.68	H7
	2D	0.53	H1	0.67	H1	0.85	H1
	3D	0.61	H2	0.74	H1	0.87	H1
	4D	0.61	H2	0.77	H1	0.86	H1
HZ	D	0.51	H2	0.62	H2	0.76	H2
	2D	0.55	H1	0.66	H1	0.86	H1
	3D	0.58	H2	0.72	H1	0.89	H1
	4D	0.63	H2	0.76	H1	0.87	H1

Solicitação dos elementos estruturais em disposição “I+Z” (continuação):

Disposição Modelação	Tipo	Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
		Rácio	Combinação	Rácio	Combinação	Rácio	Combinação
HZZ	D	0.53	H2	0.71	H2	0.77	H7
	2D	0.58	H1	0.70	H2	0.85	H7
	3D	0.62	H2	0.76	H1	0.86	H7
	4D	0.67	H2	0.79	H1	0.86	H7
IZZ	D	0.54	H2	0.67	H2	0.78	H7
	2D	0.58	H2	0.71	H1	0.85	H7
	3D	0.63	H2	0.78	H1	0.86	H7
	4D	0.72	H2	0.81	H1	0.86	H7
ZIZ	D	0.48	H2	0.64	H2	0.71	H7
	2D	0.53	H1	0.64	H1	0.80	H1
	3D	0.55	H1	0.69	H1	0.83	H1
	4D	0.60	H1	0.72	H1	0.82	H1
ZZIZZ	D	0.57	H2	0.71	H2	0.78	H7
	2D	0.57	H1	0.69	H1	0.85	H7
	3D	0.59	H1	0.74	H1	0.86	H7
	4D	0.63	H1	0.77	H1	0.86	H7
ZZZIZZZ	D	0.62	H2	0.79	H2	0.78	H7
	2D	0.61	H2	0.72	H2	0.85	H7
	3D	0.61	H2	0.76	H1	0.86	H7
	4D	0.65	H1	0.79	H1	0.86	H7
ZIIIZ	D	0.50	H2	0.67	H2	0.71	H7
	2D	0.54	H2	0.66	H2	0.83	H1
	3D	0.56	H1	0.68	H1	0.86	H1
	4D	0.60	H1	0.71	H1	0.84	H1
ZZIIIZZ	D	0.60	H2	0.79	H2	0.78	H7
	2D	0.57	H1	0.70	H2	0.85	H7
	3D	0.59	H1	0.72	H1	0.86	H7
	4D	0.64	H1	0.75	H1	0.85	H7
ZZZIIZZZ	D	0.67	H2	0.89	H2	0.78	H7
	2D	0.61	H2	0.71	H2	0.85	H7
	3D	0.63	H2	0.74	H1	0.86	H7
	4D	0.71	H2	0.77	H1	0.86	H7
ZIIIZ	D	0.50	H2	0.65	H2	0.81	H2
	2D	0.56	H1	0.68	H2	0.85	H2
	3D	0.57	H1	0.68	H2	0.87	H1
	4D	0.62	H1	0.70	H1	0.86	H2
ZZIIIZZ	D	0.55	H2	0.78	H2	0.80	H2
	2D	0.59	H1	0.73	H2	0.85	H2
	3D	0.60	H1	0.73	H2	0.86	H7
	4D	0.65	H1	0.74	H1	0.86	H2

Solicitação dos elementos estruturais em disposição “I+Z” (continuação):

Disposição Modelação	Tipo	Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
		Rácio	Combinação	Rácio	Combinação	Rácio	Combinação
ZZZIIIIZZ	D	0.55	H2	0.71	H2	0.78	H2
	2D	0.61	H1	0.74	H2	0.85	H7
	3D	0.63	H1	0.75	H2	0.86	H7
	4D	0.67	H1	0.77	H1	0.86	H7
IZI	D	0.50	H2	0.65	H2	0.68	H7
	2D	0.53	H1	0.64	H2	0.81	H1
	3D	0.54	H1	0.71	H1	0.83	H1
	4D	0.59	H1	0.73	H1	0.82	H1
HZI	D	0.56	H1	0.66	H2	0.83	H1
	2D	0.54	H2	0.67	H2	0.74	H2
	3D	0.58	H2	0.71	H1	0.85	H1
	4D	0.62	H1	0.74	H1	0.83	H1
HZH	D	0.52	H2	0.66	H2	0.68	H7
	2D	0.56	H1	0.64	H2	0.84	H1
	3D	0.57	H1	0.70	H1	0.85	H1
	4D	0.63	H1	0.73	H1	0.84	H1
HZHI	D	0.49	H2	0.65	H2	0.83	H2
	2D	0.58	H1	0.64	H1	0.88	H2
	3D	0.62	H2	0.70	H1	0.88	H2
	4D	0.66	H2	0.73	H1	0.89	H2
HZHZ	D	0.57	H2	0.75	H2	0.80	H2
	2D	0.59	H2	0.73	H2	0.84	H2
	3D	0.64	H2	0.74	H2	0.86	H1
	4D	0.71	H2	0.75	H1	0.85	H1

3. Modelação dos módulos dispostos em “L”:

Solicitação dos elementos estruturais em disposição em “L”

Disposição Adições	Modelação	Tipo	Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
			Rácio	Combinação	Rácio	Combinação	Rácio	Combinação
I	2H+I	I	0.53	H1	0.68	H1	0.78	H2
		2I	0.53	H1	0.65	H1	0.81	H2
		3I	0.55	H1	0.60	H1	0.81	H2
		4I	0.51	H1	0.62	H1	0.81	H2
	3H+I	I	0.71	H1	0.88	H1	0.79	H7
		2I	0.71	H1	0.87	H1	0.81	H2
		3I	0.74	H1	0.92	H1	0.89	H2
		4I	0.92	H1	1.02	H1	1.14	H7

Solicitação dos elementos estruturais em disposição em “L” (continuação):

Disposição		Tipo	Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
Adições	Modelação		Rácio	Combinação	Rácio	Combinação	Rácio	Combinação
I	2IH+I	I	0.56	H1	0.71	H1	0.82	H2
		2I	0.59	H1	0.66	H1	0.83	H2
		3I	0.55	H1	0.65	H1	0.84	H2
		4I	0.54	H1	0.64	H1	0.84	H2
	3IH+I	I	0.75	H1	0.89	H1	0.86	H7
		2I	0.74	H1	0.89	H1	0.86	H2
		3I	0.78	H1	0.93	H1	0.94	H2
		4I	0.68	H1	0.76	H1	0.89	H1
	2HH+I	I	0.56	H1	0.71	H1	0.84	H2
		2I	0.58	H1	0.69	H1	0.85	H2
		3I	0.56	H1	0.67	H1	0.85	H2
		4I	0.56	H1	0.66	H1	0.86	H2
	3HH+I	I	0.77	H1	0.90	H1	0.87	H2
		2I	0.76	H1	0.89	H1	0.89	H2
		3I	0.80	H1	0.92	H1	0.97	H2
		4I	0.74	H1	0.80	H1	0.90	H2
2(I)	3H+II	I	0.59	H1	0.75	H1	0.78	H2
		2I	0.61	H1	0.76	H1	0.81	H2
		3I	0.62	H1	0.75	H1	0.83	H2
		4I	0.67	H1	0.73	H1	0.84	H2
	4H+II	I	0.73	H1	0.90	H1	0.80	H2
		2I	0.70	H1	0.88	H1	0.81	H2
		3I	0.85	H1	1.00	H1	0.90	H1
		4I	0.95	H1	1.05	H1	1.19	H7
	3IH+II	I	0.60	H1	0.76	H1	0.82	H2
		2I	0.62	H1	0.76	H1	0.83	H2
		3I	0.71	H1	0.72	H1	0.83	H2
		4I	0.64	H1	0.75	H1	0.83	H2
	4IH+II	I	0.75	H1	0.91	H1	0.83	H2
		2I	0.75	H1	0.90	H1	0.86	H2
		3I	0.88	H1	1.02	H1	0.93	H2
		4I	0.76	H1	0.87	H1	0.87	H2
	3HH+II	I	0.61	H1	0.76	H1	0.84	H2
		2I	0.62	H1	0.76	H1	0.84	H2
		3I	0.63	H1	0.76	H1	0.84	H2
		4I	0.64	H1	0.77	H1	0.84	H2
	4HH+II	I	0.79	H1	0.92	H1	0.86	H2
		2I	0.79	H1	0.93	H1	0.89	H2
		3I	0.88	H1	0.97	H1	0.96	H2
		4I	0.79	H1	0.91	H1	0.90	H2

Solicitação dos elementos estruturais em disposição em “L” (continuação):

Disposição		Tipo	Pilares		Vigas Transversais		Vigas Longitudinais	
Adições	Modelação		Rácio	Combinação	Rácio	Combinação	Rácio	Combinação
3(I)	4H+III	I	0.65	H1	0.83	H1	0.80	H2
		2I	0.77	H1	0.91	H1	0.87	H2
		3I	0.75	H1	0.90	H1	0.90	H2
		4I	0.79	H1	0.90	H1	0.91	H2
	5H+III	I	0.76	H1	0.93	H1	0.84	H2
		2I	0.69	H1	0.84	H1	0.82	H2
		3I	0.89	H1	0.95	H1	0.95	H2
		4I	0.99	H1	1.04	H1	1.28	H7
	4IH+III	I	0.75	H1	0.90	H1	0.87	H2
		2I	0.67	H1	0.83	H1	0.84	H2
		3I	0.72	H1	0.85	H1	0.85	H2
		4I	0.85	H1	0.87	H1	0.91	H2
	5IH+III	I	0.63	H1	0.80	H1	0.84	H2
		2I	0.68	H1	0.81	H1	0.87	H2
		3I	0.82	H1	0.93	H1	0.93	H2
		4I	0.79	H1	0.91	H1	0.89	H2
	4HH+III	I	0.77	H1	0.91	H1	0.89	H2
		2I	0.80	H1	0.93	H1	0.89	H2
		3I	0.81	H1	0.78	H1	0.86	H2
		4I	0.76	H1	0.90	H1	0.90	H2
	5HH+III	I	0.87	H1	0.99	H1	0.96	H2
		2I	0.90	H1	0.97	H1	0.96	H2
		3I	0.78	H1	0.87	H1	0.95	H2
		4I	0.78	H1	0.92	H1	0.90	H2

ANEXO III - Dimensionamento de pilares

1. Dimensionamento pilares piso 0:

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK

Combo : H9 - 1.0 (G+RCP) + 1.5 (Hk 2-2-X) + 0.2 Qk

Units : KN, m, C

Frame : 1923	Design Sect: RHS 220x220x8.0		
X Mid : 9.600	Design Type: Column		
Y Mid : 14.400	Frame Type : Moment Resisting Frame		
Z Mid : 0.250	Sect Class : Class 1		
Length : 0.500	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3		
Loc : 0.500	RLLF : 1.000		
Area : 0.007	SMajor : 4.626E-04	rMajor : 0.087	AVMajor: 0.004
IMajor : 5.089E-05	SMinor : 4.626E-04	rMinor : 0.087	AVMinor: 0.004
IMinor : 5.089E-05	ZMajor : 5.396E-04	E : 210000000.00	
Ixy : 0.000	ZMinor : 5.396E-04	Fy : 275000.000	

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	P	M33	M22	V2	V3	T
0.500	-157.936	8.467	103.662	1.973	21.067	-0.144

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing	Total	P	MMajor	MMinor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
(6.62)	0.866	= 0.085	+ 0.746	+ 0.035	0.990	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor
Axial	-157.936	1865.600	1865.600	1865.600	1865.600

MOMENT DESIGN

	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity
Major Moment	8.467	148.386	148.386	148.386
Minor Moment	103.662	148.386	148.386	

	K	L	k	kzy	kzy	C1
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	1.000	2.000	0.994	0.733		1.000
Minor Moment	1.000	2.000	1.068		0.641	

SHEAR DESIGN

	Ved	Vc,Rd	Stress	Status	Ted
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	1.973	558.875	0.004	OK	0.000
Minor Shear	21.235	558.875	0.038	OK	0.000

2. Dimensionamento pilar piso 1:

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK

Combo : H9 - 1.0 (G+RCP) + 1.5 (Hk 2-2-X) + 0.2 Qk
Units : KN, m, C

Frame : 1924	Design Sect: RHS 220x220x7		
X Mid : 9.600	Design Type: Column		
Y Mid : 14.400	Frame Type : Moment Resisting Frame		
Z Mid : 2.000	Sect Class : Class 1		
Length : 3.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3		
Loc : 3.000	RLLF : 1.000		
Area : 0.006	SMajor : 4.104E-04	rMajor : 0.087	AVMajor: 0.003
IMajor : 4.515E-05	SMinor : 4.104E-04	rMinor : 0.087	AVMinor: 0.003
IMinor : 4.515E-05	ZMajor : 4.765E-04	E : 210000000.00	
Ixy : 0.000	ZMinor : 4.765E-04	Fy : 275000.000	

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	P	M33	M22	V2	V3	T
3.000	-113.525	7.539	93.203	1.156	19.509	-0.289

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(6.62)	0.895	= 0.087	+ 0.760	+ 0.048	0.990	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor
Axial	-113.525	1310.289	1640.100	1310.289	1310.289

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major Moment	7.539	131.050	131.050	131.050
Minor Moment	93.203	131.050	131.050	

	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1.000	2.000	1.051	0.991		1.000
Minor Moment	1.000	2.000	1.069		0.642	

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major Shear	1.793	489.016	0.004	OK	0.000
Minor Shear	19.509	489.016	0.040	OK	0.000

Dimensionamento pilar piso 2:

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK

Combo : H9 - 1.0 (G+RCP) + 1.5 (Hk 2-2-X) + 0.2 Qk
Units : KN, m, C

Frame : 1925	Design Sect: RHS 220x220x6		
X Mid : 9.600	Design Type: Column		
Y Mid : 14.400	Frame Type : Moment Resisting Frame		
Z Mid : 5.000	Sect Class : Class 2		
Length : 3.000	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3		
Loc : 3.000	RLLF : 1.000		
Area : 0.005	SMajor : 3.567E-04	rMajor : 0.087	AVMajor: 0.003
IMajor : 3.923E-05	SMinor : 3.567E-04	rMinor : 0.087	AVMinor: 0.003
IMinor : 3.923E-05	ZMajor : 4.123E-04	E : 210000000.00	
Ixy : 0.000	ZMinor : 4.123E-04	Fy : 275000.000	

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	P	M33	M22	V2	V3	T
3.000	-67.586	-2.809	36.091	0.825	-11.474	-0.474

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing	Total	P	MMajor	MMinor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
(6.62)	0.399	= 0.048	+ 0.331	+ 0.021	0.990	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor
Axial	-67.586	1412.400	1412.400	1412.400	1412.400

MOMENT DESIGN

	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd		
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity		
Major Moment	-2.809	113.375	113.375	113.375		
Minor Moment	36.091	113.375	113.375			
	K	L	k	kzy	kyz	
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	1.000	2.000	1.028	0.995		
Minor Moment	1.000	2.000	1.038		0.623	
						C1
						Factor
						1.000

SHEAR DESIGN

	Ved	Vc,Rd	Stress	Status	Ted
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion
Major Shear	0.825	419.156	0.002	OK	0.000
Minor Shear	11.474	419.156	0.027	OK	0.000

ANEXO III - Dimensionamento dos elementos de ligação pilar/pilar:

Secção RHS 220x220x7.0:

- Momento resistente da ligação:

$$M_{Rd} = f_{yd} W_{pl} = 275 \times 10^3 \times 407,9 \times 10^{-6} = 129,22 \text{ kN.m}$$

- Determinação das forças no binário (considerando binário aproximado de 0.20 m):

$$M = N \times b \Rightarrow N = \frac{M}{b} = \frac{129,22}{0,20} = 646,10 \text{ kN}$$

- Determinação do número de parafusos necessários (parafusos M24 resistentes ao corte):

$$F_{v,Rd,M24} = \frac{0,6 \times 800 \times 10^3 \times 4,52 \times 10^{-4}}{1,25} = 173,57 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,parafusos} = \frac{646,10}{4} = 161,53 \text{ kN}$$

- Verificação esmagamento dos orifícios do perfil:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

Sendo:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_{2,min}}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_{2,min}}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \times \frac{40}{26} - 1,7; 1,4 \times \frac{70}{26} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,07$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_{1,min}}{3 d_0}, \frac{p_{1,min}}{3 d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{430}; 1,0; \frac{40}{3 \times 26}; \frac{60}{3 \times 26} - 0,25 \right\}$$

$$\alpha_b = 0,513$$

$$F_{b,Rd,RHS 220x220x8} = \frac{2,070 \times 0,513 \times 430 \times 10^3 \times 0,024 \times 0,06}{1,25} = 525,83 \text{ kN}$$

Com:

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 40,0 \text{ mm}; p_{1,min} = p_{2,min} = 70,0 \text{ mm}$$

- Determinação dimensões da placa de Ligação:

A placa deverá resistir a um esforço de tracção/compressão de 646 kN, proveniente da resistência ao momento flector do pilar:

- Esforço normal resistente de tracção (área bruta, considerando aço S355):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A = 18,53 \text{ cm}^2$$

- Esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_y}{\gamma_{M2}} \Rightarrow A_{net} = 17,59 \text{ cm}^2$$

$$A_{total} = A_{net} + A_{do} = 1759 + 2 \times 26 \times 20 = 2799 \text{ mm}^2$$

Secção:

$$A_{total} = d \times e \Leftrightarrow 3080 = 155 \times e \Rightarrow e = 18 \text{ mm}$$

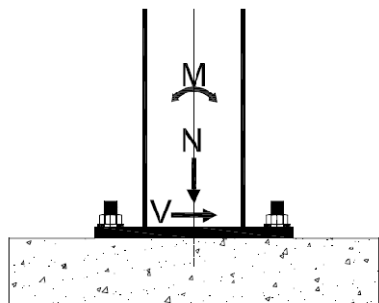
Com:

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 40,0 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = p_{2,min} = 70,0 \text{ mm}$$

ANEXO IV - Dimensionamento ligação base do pilar:

Processo de dimensionamento de ligação de base de pilar segundo o anexo L do eurocódigo 3:



Esforços considerados:

$$N_{ed} = 158,0 \text{ kN}$$

$$M_{edy} = 104,0 \text{ Kn.m}$$

$$M_{ed,z} = 8,48 \text{ Kn.m}$$

$$V_{ed,y} = 1,973104,0 \text{ Kn.m} \quad V_{ed,z} = 21,07 \text{ Kn.m}$$

Betão da fundação C18 ($f_{cd} = 18 \text{ Mpa}$)

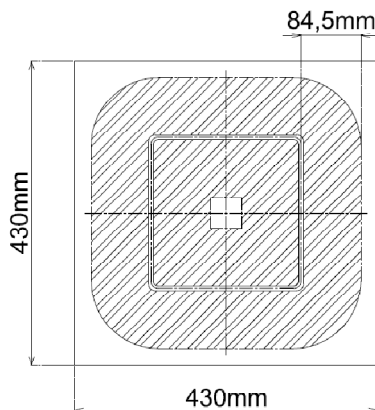
Determinação da dimensão da chapa de fundação e suas características:

$$f_j = \beta_j \times K_j \times F_{cd} = \frac{2}{3} \times 1,0 \times \frac{18}{1,5} = 8,0 \text{ kN/m}$$

Considerando uma espessura elevada ($t = 25 \text{ mm}$) de forma a garantir uma boa dispersão dos esforços:

$$c = t \times \left[\frac{f_y}{3 \times f_j \times \gamma_{M0}} \right]^{0,5} = 25 \times \left[\frac{275}{3 \times 8,0 \times 1,0} \right]^{0,5} = 84,63 \text{ mm}$$

Adopta-se um valor de c de 84,5 mm, resultando numa chapa com 430x430 mm.



Verificação da tensão actuante no betão:

Cálculo da Área efectiva:

$$A_f = (220,0 + 84,5 \times 2)^2 + (220,0 - (84,5 + 8,0) \times 2)^2 = 150096 \text{ mm}^2$$

Verificação tensão actuante no betão:

$$\frac{N}{A_f} = \frac{158}{150096 \times 10^{-6}} = 1,05 \text{ Mpa} \leq f_j = 8,0 \text{ Mpa}$$

Distribuição de tensões máximas de tracção e compressão:

$$F_c = \frac{N}{2} + \frac{M}{L} = \frac{158}{2} + \frac{104}{0,360} = 367,89 \text{ kN}$$

$$F_t = \frac{N}{2} - \frac{M}{L} = \frac{158}{2} - \frac{104}{0,360} = 209,90 \text{ kN}$$

Pré-dimensionamento dos parafusos à tracção

Considerando 2 M24 classe 8.8 por face:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_u \times A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 \times 800 \times 10^3 \times 353 \times 10^{-6}}{1,25} \times 0,85 = 172,8 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 \pi \times 36 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-3} \times 430 \times 10^3}{1,25}$$

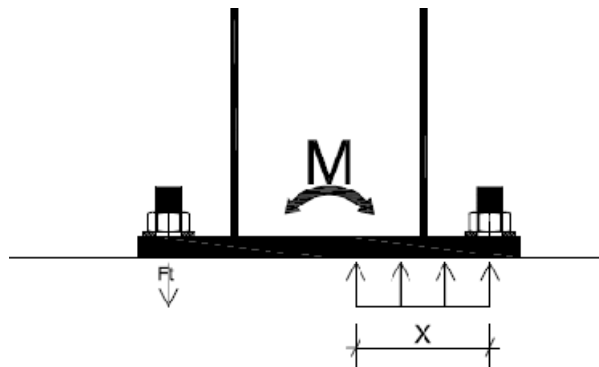
$$B_{p,Rd} = 583,58 \text{ kN}$$

Esforço de tracção aplicado por parafuso:

$$F_{t,Ed} = F_t/2 = 209,90/2 = 105,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 105,0 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 172,8 \text{ kN}$$

Estimativa da zona de compressão:



Estimativa aproximada:

$$X \approx \frac{1,25 \times F_c}{b_{eff} \times f_j} = \frac{1,25 \times 367,89}{389 \times 10^{-3} \times 8,0 \times 10^3} = 0,147 \leq 0,25$$

Cálculo rigoroso da zona de compressão:

$$X = 1,25 \times d \times \left[1 - \left(1 - \frac{2M + N(2d - a)}{b_{eff} \times d^2 \times f_j} \right)^{0,5} \right]$$

Com:

a=400 mm; d=360 mm; b_{eff} = 389 mm; L= 320 mm

$$X = 0,180 \leq 0,250$$

Força total de compressão e de tracção

$$F_c = 0,8 \times X \times b_{eff} \times f_j = 0,8 \times 0,389 \times 0,18 \times 8,0 \times 10^3 = 448,1 \text{ kN}$$

$$F_t = F_c - N_{sd} = 448,1 - 158,0 = 290,1$$

Verificação da força nos parafusos em tracção:

$$F_{t,Ed} = \frac{290.1}{2} = 145,1 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 172,8 \text{ kN}$$

ANEXO V - Dimensionamento da treliça de piso:

1. Esforços aplicados:

Esforços aplicados nos elementos da treliça de piso:

Elemento	$N_{ed,c}$ (kN)	$N_{ed,t}$ (kN)	$M_{y,ed}$ (kN.m)	$M_{z,ed}$ (kN.m)
Corda superior	72,00	45,67	0,33	0,27
Corda inferior	0	118,35	0,27	0
Diagonal vertical	22,52	19,42	0	0
Diagonal horizontal	25,91	25,21	0	0
Travessas	8,02	9,40	0	0

2. Dimensionamento dos elementos

a. Corda superior: L70x70x6.0

i. Tracção (6.2.3):

Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta (6.6):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 223,58 \text{ kN}$$

Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação (6.7):

Considerando 1 parafuso M12 e 1 parafuso M10:

$$N_{u,Rd,M12} = \frac{0,9 A_{net,M12+M10} f_u}{\gamma_{M2}} = 207,12 \text{ kN}$$

ii. Compressão (com encurvadura) (6.3.1.1):

$$N_{pl,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Cálculo de factor de encurvadura (χ) (6.3.1.2):

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{275}} = 86,807$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \lambda_1} = \frac{0,6}{0,0137 \times 86,807} = 0,505$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,34(0,470 - 0,2) + 0,470^2]$$

$$\Phi = 0,679$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,679 + \sqrt{0,679^2 - 0,505^2}} = 0,882$$

$$N_{pl,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 0,882 \times \frac{8,13 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1,0} = 197,19 \text{ kN}$$

iii. Flexão composta e desviada (com encurvadura)(6.2.1.(7)):

Factores de interacção determinados:

$$K_{yy}=1,11 \quad K_{zz}=1,11 \quad K_{yz}=0,66 \quad K_{zy}=0,66$$

$$\chi = 0.92$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{72,00}{0,92 \times 223,6} + 1,11 \frac{0,33}{2,0} + 0,66 \frac{0,33}{2,0} = 0,64 \leq 1$$

b. Corda Inferior: Secção: Barra 70x8.0

i. Tracção:

Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta (6.6):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 154,00 \text{ kN}$$

Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação (6.7) (Considerando 1 parafuso M12):

$$N_{u,Rd,M12} = \frac{0.9 A_{net,M12} f_u}{\gamma_{M2}} = 141,18 \text{ kN}$$

ii. Tracção e Flexão (verificação conservativa 6.2.1.(7)):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{118,35}{141,18} + \frac{0,27}{2,33 \times 10^{-5} \times 275 \times 10^3} = 0,88 \leq 1,0$$

c. Diagonais verticais :CHS 26,9x2,6

i. Tracção (6.2.3):

Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta (6.6):

$$N_{pl,Rd,CHS 26,9x2,6} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,98 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3}{1,0} = 46,53 \text{ kN}$$

Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação (6.7) (Considerando diferentes parafusos):

$$N_{u,Rd,M12} = \frac{0,9 A_{net,M12} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 130,89 \times 10^{-6} \times 360 \times 10^3}{1,25}$$

$$N_{u,Rd,M12} = 33,93 \text{ kN}$$

ii. Compressão (com encurvadura) (6.3.1.1):

$$N_{pl,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Cálculo de factor de encurvadura (χ) (6.3.1.2):

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \lambda_1} = \frac{0,44}{0,0087 \times 93,9} = 0,539$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,539 - 0,2) + 0,539^2] = 0,681$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,681 + \sqrt{0,681^2 - 0,539^2}} = 0,911$$

$$N_{pl,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 0,911 \times 46,53 = 42,39 \text{ kN}$$

d. Diagonais horizontais: CHS 26,9x2,6

i. Tracção (6.2.3):

Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta (6.6):

$$N_{pl,Rd,CHS 26,9x2,6} = 46,53 \text{ kN}$$

Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação (6.7) (Considerando diferentes parafusos):

$$N_{u,Rd,M12} = 33,93 \text{ kN}$$

ii. Compressão (com encurvadura) (6.3.1.1):

$$N_{pl,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Cálculo de factor de encurvadura (χ) (6.3.1.2):

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \lambda_1} = \frac{0,64}{0,0087 \times 93,9} = 0,783$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,783 - 0,2) + 0,783^2] = 0,868$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,868 + \sqrt{0,868^2 - 0,783^2}} = 0,805$$

$$N_{pl,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 0,805 \times 46,53 = 37,46 \text{ kN}$$

e. Travessas horizontais:

Tendo em conta que a secção é a mesma das restantes diagonais e que o seu comprimento e os esforços instalados são menores, considera-se que a secção e o elemento verificam as condições de segurança.

3. Dimensionamento das ligações

a. Ligação Diagonais/Cordas superiores e inferiores:

A ligação deverá ser dimensionada conforme as ligações resistentes ao corte Categoria A (E.C. 1-8 3.4.1): Ligação resistente ao esmagamento:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Força de corte aplicada nos nós:

Esforço resultante aplica nos nós:

$$F_{vr,m\acute{a}x \text{ nó}} = 2 \times N_{ed,m\acute{a}x \text{ diagonal}} \times \cos(40^\circ)$$

$$F_{vr,m\acute{a}x \text{ nó}} = 2 \times 22,52 \times \cos(40^\circ) = 34,50 \text{ kN}$$

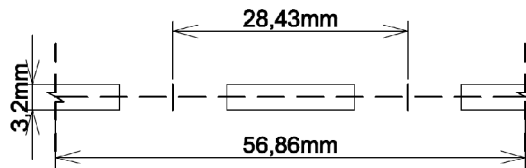
Resistência dos parafusos adoptar (considerando o esforço de corte aplicado na zona lisa do parafuso):

$$F_{v,Rd,M12} = \frac{0,6 \times 800 \times 10^3 \times 1,13 \times 10^{-4}}{1,25} = 43,39 \text{ kN}$$

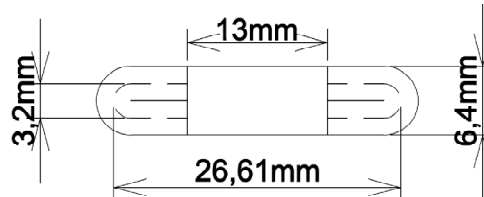
b. Resistência ao esmagamento das diagonais espalmadas:

Para este cálculo iremos fazer duas considerações distintas:

Considerando a ponta da diagonal espalmada e aberta com dois parafusos interiores resistentes ao corte;



Considerando a ponta espalmada do elemento tubular como sendo uma placa única, mas com o dobro da espessura original;



Para o parafuso M12 e secção CHS 26,9x2,6:

Consideração 1:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

Sendo:

$$k_1 = \min \left\{ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 1,4 \times \frac{38,17}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,41$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3 d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{360}; 1,0; \frac{30}{3 \times 13} \right\} = 0,77$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,41 \times 0,77 \times 360 \times 10^3 \times 0,012 \times 0,0026}{1,25} = 16,67 \text{ kN}$$

Sendo:

$$F_{b,Rd,total} = 2 \times F_{b,Rd,parafuso} = 2 \times 16,67 = 33,35 \text{ kN}$$

Consideração 2:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

Sendo:

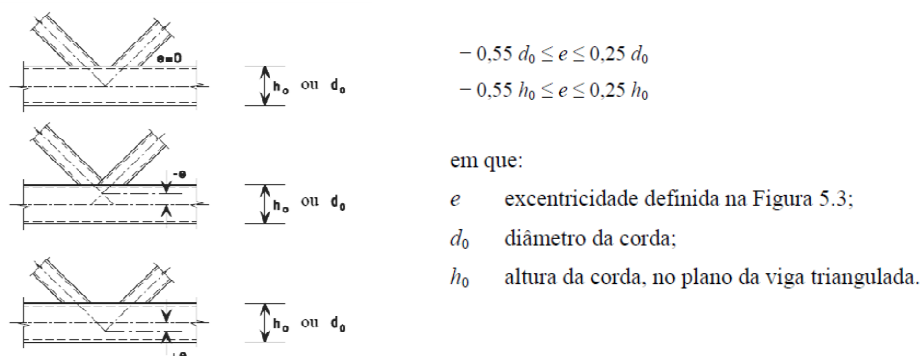
$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \times \frac{17,79}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,13$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_{1,min}}{3 d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{360}; 1,0; \frac{30}{3 \times 13} \right\} = 0,77$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,13 \times 0,77 \times 360 \times 10^3 \times 0,012 \times 2 \times 0,0026}{1,25} = 29,47 \text{ kN}$$

4. Verificação das excentricidades nas ligações:

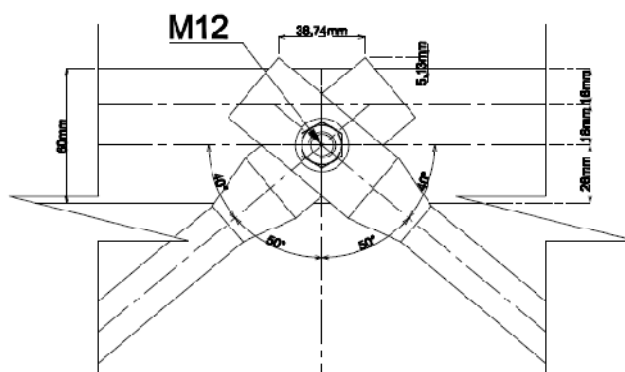
Excentricidades permitidas pelo E.C.3 1-8:



Na presente treliça a única ligação excêntrica é a ligação entre as diagonais verticais e as cordas superiores. Desta forma é necessário contabilizar os efeitos da excentricidade da ligação.

a. Ligação superior (elemento comprimido)

Pormenor ligação corda superior/diagonais:



$$d_0 = 70,0 \text{ mm} \quad h_0 = 70,0 \text{ mm}$$

$$-38,5 \leq e \leq 17,5 \text{ (mm)}$$

$$e_{\text{corda superior}} = -8,0 \text{ mm} - \text{ok}$$

$$F_{v,Ed,nó} = 22,52 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = F_{v,Ed,nó} \times e = 22,52 \times 0,008 = -0,18 \text{ kN.m}$$

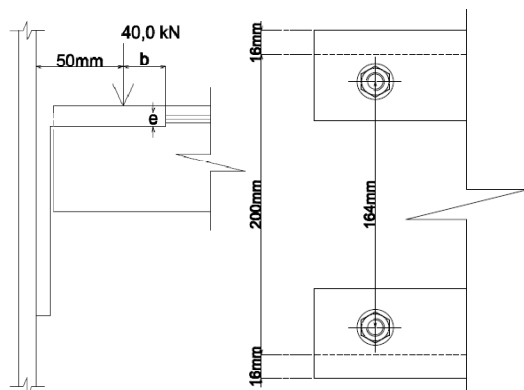
Verificação da segurança do elemento (6,2):

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rd}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rd}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{72,00}{0,92 \times 223,6} + 1,11 \frac{0,33 + 0,18}{2,0} + 0,66 \frac{0,33}{2,0} = 0,74 \leq 1$$

5. Dimensionamento cantoneira de sustentação

O presente dimensionamento terá por base as cargas de dimensionamento provenientes da corda superior da viga treliça. A carga transmitida por esta implica um dimensionamento ao esforço axial, transverso e ao momento flector causado pela excentricidade na aplicação da força:



Esforços máximos retirados da ligação modelada em SAP2000:

$$N_{ed} = 76,28 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 40,0 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 40,0 \times (15+40) \times 10^{-4} = 2,20 \text{ kN.m}$$

Pré dimensionamento da espessura da peça (e), considerando a extremidade da cantoneira como uma viga em consola:

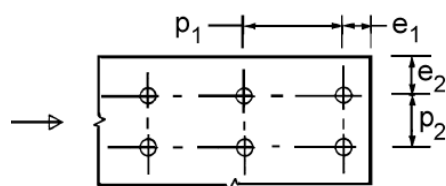
$$f_y = \frac{M}{I} y$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,20 \times e^3}{12} = \frac{e^3}{60}$$

$$275 \times 10^6 = \frac{2 \times (2,2 \times 10^3)}{\frac{e^3}{60}} \times \frac{e}{2} \Leftrightarrow e_{min} = 0,022 \text{ m}$$

Espessura mínima adoptada 22 mm;

Pré dimensionamento de b tendo em conta os afastamentos mínimos obrigatórios:



$$e_1 = e_2 = 1,2 d_0 = 24 \text{ mm} \Rightarrow 24,0 \text{ mm}$$

Comprimento mínimo de 80 mm em espessura constante para a aba superior da cantoneira.

Verificação da placa superior da cantoneira, resistência ao esmagamento da placa:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

Sendo:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \times \frac{39}{20} - 1,7; 1,4 \times \frac{168,8}{20} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3 d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{430}; 1,0; \frac{24}{3 \times 20} \right\} = 0,40$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 0,40 \times 430 \times 10^3 \times 0,020 \times 0,021}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 144,48 \text{ kN}$$

Dimensionamento da Ligação aparafusada (por fiada)

$$V_{sd,fiada} = 40 \text{ kN} ; N_{sd,fiada} = 91 \text{ kN} ; M_{sd} = 1,9 \text{ kN}$$

$$F_{t,parafuso} = \frac{M_{Ed}}{p_1} = \frac{1,9 \times 10^3}{0,07} = 27,14 \text{ kN}$$

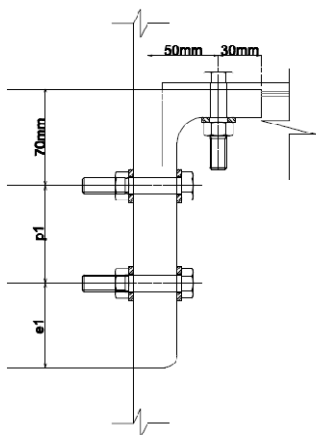
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Com 2 M14 por fiada:

$$\frac{\frac{40}{2}}{\frac{0,6 \times 800 \times 10^3 \times 1,54 \times 10^{-4}}{1,25}} + \frac{\frac{91}{2} + 27,14}{1,4 \times \frac{0,9 \times 800 \times 10^3 \times 1,54 \times 10^{-6}}{1,25}} \leq 1,0$$

$$0,92 \leq 1,0$$

Determinou-se que o afastamento mínimo entre a primeira fiada horizontal de parafusos e o topo do perfil deveria ser 70 mm para permitir o acesso livre durante a montagem.



$$p1, \min = 2,2d0 = 44,0 \text{ mm}$$

$$e1, \min = 1,2d0 = 24,0 \text{ mm}$$

Admitindo que $e1 = 20 \text{ mm}$ e $p1 = 100 \text{ mm}$ (desprezando 10 mm de comprimento devido à redução de secção na zona arredondada da cantoneira)

Pormenor de ligação:

